



Energibesparelser i bygninger i den offentlige sektor

Tommerup, Henrik M.; Laustsen, Jacob Birck

Publication date:
2008

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M., & Laustsen, J. B. (2008). *Energibesparelser i bygninger i den offentlige sektor*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. Byg Rapport No. R-184

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

HENRIK TOMMERUP
JACOB B. LAUSTSEN

ENERGIBESPARELSER I
BYGNINGER I DEN
OFFENTLIGE SEKTOR

Rapport
BYG·DTU R-184
2008

ISSN 16012917
ISBN 9788778772596

Forord

Der er umiddelbart betydelige muligheder for rentable energibesparelser i eksisterende bygninger i den offentlige sektor, dvs. statslige, regionale og kommunale bygninger, som i det følgende blot benævnes ”offentlige bygninger”. Men der er behov for at skabe overblik over de mulige tiltag og den tilknyttede økonomi.

Derfor er der gennemført et udredningsprojekt, som har været opdelt i følgende delopgaver:

- Energibesparende tiltag
- Metoder til økonomiske vurderinger
- Økonomiske beregninger / vurderinger
- Vurdering af energibesparelspotentiale og investeringsbehov
- Realisering af energibesparelspotentiale

Denne opdeling svarer til hovedkapitlerne i rapporten.

Rapporten er afgrænset til at omhandle energibesparelser relateret til energiforbruget til bygningsdrift, dvs. energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning. Det er netop dette energiforbrug, der er omfattet af bygningsreglementet og lov om energimærkning af bygninger.

Rapporten er udarbejdet af DTU Byg for og i samarbejde med Rockwool A/S ved Susanne Kuehn.

Tak til professor Svend Svendsen på DTU Byg og Susanne Kuehn for god sparing til arbejdet med rapporten.

Kgs. Lyngby, Maj 2008.

Konklusion

- ▶ Rapporten viser overordnet, at der er betydelige rentable energibesparelser at hente i offentlige bygninger, og at energibesparelserne kan realiseres lønsomt ved at stille anderledes og mere vidtgående energikrav i cirkulærer, bekendtgørelser mm. På baggrund af analyserne vurderes energibesparelspotentialet at være 15,9 PJ/år (heraf el: 3,7 PJ/år) svarende til en besparelse på 74 % i forhold til energiforbruget i 2006. Investeringsbehovet for at gennemføre disse energibesparelser inden 2020 er 2,9 mia. kr./år. Besparelsen i energiudgifter er 3,8 mia. kr./år.
- ▶ Analyserne peger også på, at *der er behov for andre kriterier og metoder for vurdering af de økonomiske forhold, hvis man vil have et stort besparelspotentiale udnyttet i bygninger i den offentlige sektor.*
- ▶ Cirkulæret om energieffektivisering af statens bygninger og energimærkningsordningen er sat i verden for at realisere energibesparelser i bygningsmassen, men rapportens analyser af typiske energibesparende tiltag, viser at *de nugældende krav* i cirkulæret om gennemførelse af de energibesparelsesforslag, som er anbefalet i energimærkningsrapporten, og som har en tilbagebetalingstid på under 5 år, *kun i meget beskedent omfang vil medføre energibesparelser i statens institutioner (og kommunerne).* Analyserne viser at mange af tiltagene med en tilbagebetalingstid på over 5 år er rentable, og derfor burde gennemføres.
- ▶ Bygningsreglementet stiller krav om opgradering af klimaskærm mm i forbindelse med større renoveringer, men kun hvis et ”rentabilitetskriterium” er opfyldt - et kriterium som energimærkningsordningen anvender. Kriteriet er baseret på Energistyrelsens levetider for energibesparende tiltag, og i nogle tilfælde er de meget konservative, hvorved tiltag som reelt set vil være rentable, ikke bliver gennemført (f.eks. udvendig efterisolering). *Dette nuværende rentabilitetskrav er generelt en for stor barriere for energibesparelser, så det bør revideres eller eventuelt fjernes.*
- ▶ *Kriterium for de økonomiske forhold bør være baseret på totaløkonomi, realistiske levetider og ikke mindst en renoveringsgrad, som tager hensyn til at energibesparelser typisk indføres i forbindelse med behov for renovering, hvorfor de ikke skal blandes sammen med almindelig vedligeholdelse og renovering.*
- ▶ Byggebranchen nyopfører og renoverer i dag typisk bygninger til et energimæssigt niveau svarende til de minimumskrav, der er anført i energibestemmelserne i bygningsreglementerne. Det er kun i sjældne tilfælde, at man gør det bedre end minimumskravene, selvom det typisk er forbundet med en bedre totaløkonomi. Det er derfor oplagt at benytte bygningsreglementet som instrument til at sikre energibesparelserne. *Derfor kunne der, som udgangspunkt, stilles samme krav til bygningsdeles energistandard i forbindelse med renovering, som ved nybyggeri, når energibestemmelser forventeligt skærpes i 2010, 2015 og 2020, jævnfør energiaftale af 21. februar 2008.*
- ▶ I rapporten afsnit 7.4 findes en liste af anbefalinger på løsninger af diverse andre barrierer for energibesparelser i offentlige bygninger.

Resume

Der er betydelige muligheder for rentable energibesparelser i bygningsmassen i den offentlige sektor, dvs. statslige, regionale og kommunale bygninger. Rapporten beskriver disse muligheder.

Rapporten beskriver og diskuterer forskellige metoder til vurdering af økonomien i energibesparende tiltag og samlede energirenoveringer, herunder at energispareprismetoden, der er baseret på totaløkonomiske betragtninger, er en logisk og rationel metode til identificering og prioritering af de billigste energibesparelsetiltag set over levetiden. Energispareprisen kan direkte sammenlignes med prisen for at levere energi. En del af metoden er at operere med en renoveringsgrad, som tager hensyn til, at energibesparelser typisk indføres i forbindelse med almindelig renovering, og som sikrer at de ikke blandes sammen med almindelig vedligeholdelse og renovering.

Økonomien i de enkelte energibesparende tiltag vurderes ud fra beregninger af rentabilitetsfaktor, simpel tilbagebetalingstid og energisparepris ved forskellige realudviklinger i energiprisen. Rentabilitetsfaktoren benyttes i energimærkningsammenhæng, som indikation på tiltag, der er rentable, mens simpel tilbagebetalingstid benyttes som økonomisk målestok i relation til cirkulæret om energieffektivisering af statens bygninger. Energisparepris er et bud på fremtidens kriterium ved vurdering af energibesparende tiltag.

Analyserne viser, at de nugældende krav i cirkulæret om gennemførelse af de energibesparelsesforslag, som er anbefalet i energimærkningsrapporten, og som har en tilbagebetalingstid på under 5 år, kun i meget beskedent omfang vil medføre energibesparelser i statens institutioner (og kommunerne). Analyserne viser også, at mange af tiltagene med en tilbagebetalingstid på over 5 år er rentable, og derfor burde gennemføres.

Den samlede energimæssige og økonomiske effekt af en vidtgående energirenovering af en typisk offentlig bygning, er undersøgt for bygning 118 på Danmarks Tekniske Universitet. Energibehovet til bygningsdrift kan derved reduceres fra 130 til 38 kWh/m² ved almindelige tiltag vedrørende klimaskærm og installationer, og er forbundet med en fornuftig økonomi, da tilbagebetalingstiden for energitiltagene samlet set er 15 år.

På baggrund af opgørelser af det nuværende energiforbrug i offentlige bygninger i Danmark, bygningernes alder og stand m.m. er der foretaget vurderinger af besparelspotentialet ved gennemførelse af energibesparende tiltag. Det privatøkonomiske besparelspotentiale er vurderet til 74 %, mens det samfundsøkonomisk rentable besparelspotentiale er 43 %.

Investeringsbehovet for at gennemføre de privatøkonomisk rentable energibesparende tiltag inden 2020 vurderes til 2,9 mia. kr./år, idet der tages udgangspunkt i bygning 118 på DTU, som antages at repræsentere en gennemsnitlig offentlig bygning i Danmark. Besparelsen i energiudgifter er beregnet til 3,8 mia. kr. pr. år baseret på oplysninger fra Danmarks Statistik. De forventede årlige besparelser i energiudgifterne er således større end de årlige udgifter til at gennemføre de skitserede energirenoveringer af bygninger i den offentlige sektor. Det skal bemærkes, at der kun er et investeringsbehov frem til år 2020.

Slutteligt kommer forfatterne med nogle bud på, hvordan man kan stimulere en realisering af energisparepotentialet. Offentlige bygherrer kan ved at stille høje krav til private leverandører, når de bygger nyt og renoverer, fungere som katalysator for energibesparelser i bygninger

generelt i Danmark. Men det er ikke tilstrækkeligt, at der er god idé i, at det offentlige går foran. Der er også behov for at rydde de barrierer af vejen, som i stor stil afholder staten, kommuner og regioner fra at udføre rentable energibesparelserprojekter. Til dette arbejde er der udarbejdet en liste af anbefalinger på løsninger af diverse barrierer for energibesparelser i offentlige bygninger.

Indhold

FORORD.....	2
KONKLUSION	3
RESUME.....	4
INDHOLD.....	6
1 INDLEDNING.....	8
1.1 BAGGRUND	8
1.2 FORMÅL	9
2 ENERGIBESPARENDE TILTAG I OFFENTLIGE BYGNINGER.....	10
2.1 ENERGIBESTEMMELSER I BYGNINGSREGLEMENTET	10
2.2 BYGNINGSENERGIKRAV TIL OFFENTLIG SEKTOR.....	11
2.3 YDERVÆGGE	12
2.4 TAG- OG LOFTKONSTRUKTIONER.....	14
2.5 TERRÆNDÆK, FUNDAMENTER SAMT GULVE MOD KÆLDER OG KRYBEKÆLDRE	15
2.6 KLIMASKÆRMENS LUFTTÆTHED	17
2.7 VINDUER	19
2.8 VENTILATION	24
2.9 VARMEINSTALLATIONER.....	26
2.10 SOLAFSKÆRMNING OG KØLING	29
2.11 BELYSNING	34
2.12 SOLENERGI.....	37
2.13 BYGNINGSDRIFT.....	39
3 ENERGIBESPARENDE TILTAG PÅ EN TYPISK OFFENTLIG BYGNING	41
3.1 BYGNING 118 PÅ DTU	42
3.2 SAMLET ENERGIBEHOV FØR RENOVERING	42
3.3 FORSLAG TIL ENERGIBESPARENDE TILTAG	43
3.4 ENERGIBESPARELSER OG ANLÆGSUDGIFTER.....	44
4 METODER TIL ØKONOMISKE VURDERINGER	46
4.1 PRIVATØKONOMISKE VURDERINGSMETODER	46
4.2 SAMFUNDSØKONOMISKE VURDERINGSMETODER	53
5 ØKONOMISKE BEREKNINGER	54
5.1 PRIVATØKONOMISKE BEREKNINGER.....	54
5.2 SAMFUNDSØKONOMISKE BEREKNINGER.....	58
6 VURDERING AF BESPARELSESPOTENTIALE	61
6.1 LØNSOMT ENERGIBESPARELSESPOTENTIALE	62
6.2 INVESTERINGSBEHOV	65
6.3 BESPARELSE I ENERGIUDGIFTER.....	66
7 REALISERING AF ENERGIBESPARELSESPOTENTIALE	67
7.1 BARRIERER FOR ENERGIBESPARELSER I KOMMUNERNE.....	67
7.2 ESCO'S SOM BARRIEREBRYDER I DEN OFFENTLIGE SEKTOR	68
7.3 NYESTE POLITISKE UDVIKLINGER.....	69

7.4	ANBEFALINGER PÅ LØSNINGER AF BARRIERER.	71
8	REFERENCER	73
	BILAG 1: RELATERET IGANGVÆRENDE FORSKNINGSPROJEKT	74
	BILAG 2: BESKRIVELSE AF BYGNING 118 (DTU).....	75
	BILAG 3: RESULTATER AF PRIVATØKONOMISKE BEREKNINGER	80

1 Indledning

1.1 Baggrund

Som led i regeringens ”Handlingsplan for en fornyet energispareindsats” [1] er der udstedt et nyt cirkulære om ”Energieffektivisering af statens institutioner” [2], der trådte i kraft 27. april 2005. Cirkulæret ophæver et lignende cirkulære fra 1995, som har haft begrænset effekt, idet statens forbrug af energi har været omtrent uændret i årene 2000 til 2004. Det nye cirkulære foreskriver, at alle statslige institutioner skal udøve en energieffektiv adfærd, indkøbe energieffektive produkter, *gennemføre rentable energibesparelserprojekter*, gennemføre energieffektiv drift, indberette og synliggøre energi- og vandforbrug samt offentliggøre energimærkninger af bygningerne, som skal foretages hvert 5. år.

Definitionen i cirkulæret af rentable energibesparelserprojekter er projekter/tiltag, som har en simpel tilbagebetalingstid på mindre end 5 år. En given institution er kun forpligtet til at gennemføre de projekter/tiltag, der er anbefalet ved energimærkning af bygningen, og kravet gælder alene de forslag i energimærkningsrapporten, det kan betale sig at gennemføre ”her og nu”¹. Da forpligtelsen til at gennemføre rentable energibesparelser, er knyttet til projekter med en tilbagebetalingstid på under 5 år, er der ikke fundet behov for at indføre bestemmelser om finansierings- eller låneordninger.

Det er således samlet set tydeligt, at der er tale om relativt lempelige krav, som ikke tager højde for tiltag med relativt lang levetid og tilbagebetalingstid (som f.eks. efterisolering), der formentlig i mange tilfælde vil være forbundet med en attraktiv totaløkonomi, men som umiddelbart ikke bliver gennemført med mindre, det er påkrævet.

Cirkulæret omfatter energieffektivisering af statens institutioner og således ikke de øvrige bygninger i de nye storkommuner og regioner. Som et resultat af den politiske aftale om den fremtidige energispareindsats (af 10. juni 2005), og deraf følgende drøftelser med kommuner og regioner om, at de skal leve op til de samme krav, har kommunerne (KL) ultimo 2007 forpligtet sig til at opfylde de samme krav som staten via en frivillig aftale med Transport- og Energiministeriet.

Der er tidligere foretaget udredninger af besparelspotentialer, men de er relativt overfladiske og sætter rentabilitetskriteriet ret lavt. Der er således behov for nye og mere detaljerede analyser af energibesparelsemuligheder og potentialer.

Det samlede varmeforbrug i den offentlige sektor udgjorde i 2006 16,2 PJ, mens det samlede elforbrug udgjorde 9,5 PJ. Varmeforbruget svarer derfor til ca. 8 % af det samlede varmeforbrug i danske bygninger, som er 211 PJ. Det opvarmede etageareal i den offentlige sektors bygninger² udgør 9 % eller 41 mio. m² af det samlede opvarmede etageareal i danske bygninger på 460 mio. m², hvoraf 50 % er opvarmet med fjernvarme. Det forventes, at bygningsmassen i den offentlige sektor vil være konstant i perioden frem mod år 2015.

¹ Dvs. de forslag der opfylder bygningsreglementets rentabilitetskriterium, og som derved indplaceres i gruppen ”Rentable besparelsesforslag”, mens kravet ikke gælder projekter der anbefales gennemført ved renovering, dvs. forslag som placeres i gruppen ”Energibesparelsesforslag ved renovering”; altså forslag, som ikke er umiddelbart rentable, men som kan være relevante at gennemføre i forbindelse med en større renovering.

² Jf. Statistisk Årbog 2006, tabel 295.

I Tabel 1 er opført en række illustrative energinøgletal for offentlige bygninger, som er baseret på tidligere analyser af energisparepotentialet i offentlige bygninger [3]. Heraf fremgår det tydeligt, at det er ydervægge, ventilation og belysning, hvor de største potentialer for energibesparelser findes. Ovennævnte rapport vurderer, at potentialet for varmebesparelser er 4,4 PJ ”her og nu” (ca. 30 %) og 10,4 PJ ”på sigt” (ca. 60 %) ved forceret forsknings- og udviklingsindsats frem mod 2015.

Tabel 1. Procentvis fordeling af energiforbruget i bygninger i den offentlige sektor.

Fordeling af varmetab		Fordeling af elforbrug	
Ventilation	27	Belysning	32
Ydervægge	26	Ventilation	11
Vinduer	16	Pumpning	11
Gulv	12	Diverse	21
Varmt brugsvand	11	Motorer	6
Tag	8	Andet	19
I alt:	100	I alt:	100

Den overordnede indsats vedrørende energibesparelser er formuleret i den omtalte handlingsplan for en fornyet energispareindsats. Denne indeholder en konkret målsætning om, at der skal præsteres konkrete og dokumenterbare energibesparelser (ekskl. transport) på i gennemsnit 7,5 PJ pr. år over perioden 2006 til 2013. Af disse skønnes det at ca. 4,0 PJ/år kan opnås gennem varmebesparelser i bygninger. Offentlige bygninger vurderes umiddelbart at kunne bidrage betydeligt til denne besparelsesindsats. Det samlede årlige besparelsesmål er netop øget til 10,3 PJ med den nye energipolitiske aftale fra februar 2008. Det må forventes, at målet for varmebesparelser ligeledes hæves.

1.2 Formål

Der er behov for at afdække det reelle besparelsespotentiale i offentlige bygninger, såsom administrative bygninger og dag- og døgninstitutioner.

Hypotesen er, at samfundet kan hente betydelige rentable energibesparelser ”hos sig selv”, som kan realiseres ved at stille mere vidtgående energikrav i cirkulærer, bekendtgørelser mm., samt ved at lette finansieringen af de energibesparende tiltag.

Energibesparelser, specielt varmebesparelser, har været bortdømt i en længere periode, så målet med udredningen er, igen at få dem på dagsordenen ved at vise at de er økonomisk fornuftige.

2 Energibesparende tiltag i offentlige bygninger

Der redegøres for relevante energibesparende renoveringstiltag i eksisterende statslige, regionale og kommunale bygninger. Der redegøres for energibesparende tiltag, energibesparelser og anlægsudgifter. De energibesparende tiltag behandles i passende afgrænsede afsnit, svarende til isoleret klimaskærm, vinduer, ventilation, varmeinstallationer, solafskærmning og køling, belysning, solenergi og bygningsdrift. Energibesparelser vedrørende elektriske apparater og andet udstyr, der ikke er omfattet af bygningsreglementets energikrav, behandles som nævnt ikke i rapporten

Energibesparelserne beregnes så vidt muligt ud fra simple formeludtryk, men suppleres hvor det er relevant med energiberegninger på bygningsniveau. Anlægsudgifter er baseret på V&S priser³, hvis ikke anden kilde er angivet. V&S priser benyttes i øvrigt i vid udstrækning i forbindelse med energimærkningsordningen. Specielle vidtgående energisparetiltag, som endnu ikke er standard, er forsøgt prissat på bedst mulige vis.

Da udredningen omhandler offentlige institutioner, som får købsmomsen på indkøbte varer og momspligtige ydelser fra private virksomheder refunderet, er priserne på de energibesparende tiltag angivet uden moms.

2.1 Energibestemmelser i bygningsreglementet

Det nye bygningsreglement BR2008⁴ trådte i kraft 1. februar 2008. I en overgangsperiode frem til 1. august 2008 kan både de nye og de gamle regler anvendes, hvorefter BR2008 træder endelig i kraft. BR2008 sætter rammerne for opførelse af nye bygninger, tilbygninger samt ombygning og andre væsentlige forandringer i bygningen og udskiftning af kedler m.v. Sidstnævnte er relevant i forbindelse med energibesparende tiltag i eksisterende offentlige bygninger.

BR08 foreskriver, at klimaskærm og installationer skal bringes på niveau med nye bygninger hvis renoveringen:

- Omfatter udskiftning af regnskærm eller
- Omfatter facadevis udskiftning af vinduer og forbedring af vinduer med forsatsrammer eller
- Omfatter samlet udskiftning af tagvinduer og ovenlys eller
- Omfatter udskiftning af tagdækning eller
- Omfatter udskiftning af kedel og varmforsyningsform eller
- Omfatter udskiftning eller ombygning af ventilationsanlæg eller
- Berører mere end 25 % af klimaskærmen eller
- Koster mere end 25 % af bygningens værdi (BBR-værdi – grundværdi)

Forudsat at de enkelte tiltag, hver for sig, har den fornødne rentabilitet. Hvis tiltaget ikke er rentabelt, men et mindre omfattende tiltag kan nedbringe energibehovet, skal dette tiltag foretages. Hvis 25 % reglen er opfyldt, skal der altså i forbindelse med den oprindeligt planlagte renovering ske en energimæssig forbedring af andre dele af klimaskærm og installationer, hvis forbedringerne hver for sig har den fornødne rentabilitet. For

³ V&S PrisBog - Renovering og Drift, Brutto - 2007.

⁴ Gratis tilgængeligt på Erhvervs- og Byggestyrelsens hjemmeside: <http://www.ebst.dk/br08.dk/>

enfamiliehuse træder 25 % reglen for renovering kun i kraft i særlige situationer, f.eks. i forbindelse med totalrenoveringer. Reglerne og kriteriet for rentabilitet omtales nærmere i kapitel 5: ”Økonomiske beregninger”.

De historiske krav til klimaskærmens isolering er vist i Tabel 2, inklusiv de nye BR2008 krav. Der er for overskuelighedens skyld ikke anført krav til linietaf i samlinger mellem bygningsdele.

Tabel 2. Bygningsreglement krav til varmeisolering af bygningsdele, U-værdi krav til bygningsdele omkring opvarmede rum.

Bygningsdele	BR61/72	BR77/82	BR95	BR08 ¹	BR08 ²
Ydervæg, tung	1,00	0,40/0,35	0,30	0,20	0,40
Ydervæg, let	0,60	0,30	0,20	0,20	0,40
Terrændæk	0,45	0,30	0,20	0,15	0,30
Loft- og tagkonstruktioner	0,45	0,20	0,15-0,20	0,15	0,25
Etageadskil. mod uopv. rum	0,60	0,40	0,30	0,40	0,40
Vinduer	2,90	2,90	1,80	1,50	2,00
Tagvinduer og ovenlys	-	-	-	1,80	2,00

¹ Energibestemmelsernes krav til tilbygninger og større ombygninger/renoveringer

² Mindste isoleringskrav

Det ses af tabellen, at det først er efter de to oliekriser i 1970'erne, at der kommer fokus på varmeisolering af bygninger. Sammenholdt med, at ca. 75 % af alle bygninger er opført før 1980, er det tydeligt, at der er gode energibesparelsesmuligheder i efterisolering af klimaskærmen i eksisterende bygninger, herunder offentlige bygninger.

2.2 Bygningsenergikrav til offentlig sektor

Som nævnt i indledningen stiller et cirkulære krav om, at alle statslige institutioner (og nu også kommuner, baseret på en frivillig aftale indgået i oktober 2007) skal gennemføre de rentable energibesparelsetiltag, der er anbefalet ved energimærkning af bygninger, og som har en simpel tilbagebetalingstid på indtil 5 år og derunder⁵. Kravet vedrører alene tiltag, der i energimærkningen af bygninger er anbefalet, som ”Rentable besparelsesforslag”. Tiltagene skal gennemføres inden for et tidsrum af fire år efter udfærdigelse af energimærkningen, som skal udføres hvert 5. år for offentlige bygninger.

Tiltag skal ikke nødvendigvis gennemføres, hvis det kan dokumenteres, at væsentlige forhold taler imod projektets gennemførelse. Cirkulæret angiver hvilke væsentlige forhold, der kan komme på tale, hvilket f.eks. er højere anlægsudgifter end forudsat i energimærkningen og forestående fraflytning eller nedrivning.

Alt i alt er kravene relativt lempeligt formuleret, særligt set i forhold til at mange tiltag og specielt isoleringsmæssige tiltag godt kan være rentable ud fra bygningsreglementets / energimærkningens rentabilitetskriterium, men ”dumper” på tilbagebetalingstiden.

⁵ Jf. særskilt vejledning til §10 i cirkulære nr. 27 af 19. april 2005 om energieffektivisering af statens institutioner

2.3 Ydervægge

2.3.1 Energibesparelsemuligheder

Efterisolering af ydervægge udgør et betydeligt besparelspotentiale, idet en god isolering af ydervægge først rigtig blev udbredt fra og med indførelse af Bygningsreglementet 1977, hvor U-værdi kravet til traditionelle tunge ydervægskonstruktioner blev skærpet fra 1,00 til 0,40 W/m²K.

Det er muligt at reducere varmetabet fra ydervægge ved hulmursisolering, indvendig efterisolering og udvendig efterisolering.

Hulmursisolering er en mulighed for bygninger, hvor der er hule mure, som endnu ikke er blevet efterisoleret. En del bygninger er allerede blevet hulmursisoleret, så potentialet er begrænset. Når man hulmursisolere, får man ikke isoleret eventuelle faste bindere og gennemmuringer ved vinduestilslutninger, som gennembryder konstruktionen. Disse vil udgøre kraftige kuldebroer, som kun kan brydes ved at supplere med udvendig eller indvendig efterisolering.

Indvendig efterisolering er en mulighed, men har mange ulemper. Bl.a. er den fugtteknisk vanskelig at udføre, reducerer det effektive boligareal og giver problemer med diverse tilslutninger. Indvendig efterisoleringens største berettigelse er derfor generelt set i de tilfælde, hvor facadens udseende er bevaringsværdigt. Anvendelse af avancerede isoleringsmaterialer som vakuum isolering er en mulighed for at etablere en god isolering indvendigt med en tykkelse på kun 20 % af en traditionel isoleringsløsning med tilsvarende isoleringsevne, men vakuum isolering er så meget dyrere end traditionel isolering, at værdien af det sparede boligareal mv. skal vægtes højt for at det er en fordelagtig løsning.

Udvendig efterisolering er den mest effektive løsning, som sikrer en betydelig energibesparelse, godt indeklima og forlænger levetiden. Men løsningen er problematisk, hvor specielle bevaringsværdige arkitektoniske forhold gør sig gældende. I sådanne tilfælde er indvendig efterisolering eneste mulighed. Udvendige efterisoleringssystemer kan deles op i tre grupper [4]:

Lette efterisoleringssystemer med ventileret luftspalte (pladebeklædning)

Lette efterisoleringssystemer uden ventileret luftspalte (pudsløsning)

Tunge efterisoleringssystemer med skalmur

Løsningen med ventileret luftspalte og pladebeklædning er den traditionelle løsning, mens den varmeteknisk bedre og billigere løsning med puds direkte på isoleringslaget er blevet mere udbredt de senere år. Efterisoleringen med skalmur er den dyreste løsning. Et alternativ til skalmuren, som er billigere, er at benytte pladebeklædning i form af skærmtegl.

2.3.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Energibesparelsen $\Delta E_{\text{ydervæg}}$ ved efterisolering af ydervægge kan beregnes ud fra følgende simple formeludtryk:

$$\Delta E_{\text{ydervæg}} = 90 \cdot (U_{\text{før}} - U_{\text{efter}}) \quad [\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

Hvor $U_{\text{før}}$ er U-værdien ($\text{W/m}^2\text{K}$) for den eksisterende konstruktion og U_{efter} er U-værdien efter renoveringen. Alle kuldebroer indregnes i U-værdien, både før og efter renoveringen. Faktoren 90 er antallet af gradtimer i enheden 1000 Kh (eller kKh) i fyringssæsonen i løbet af et normalt år, beregnet som forskellen mellem en indetemperatur på 20°C og udetemperaturen.

Energibesparelsen er den resulterende besparelse, idet det er antaget, at en ændring i transmissionstab (varmetabet) slår igennem med en faktor 1 på bruttovarmebehovet. Denne faktor afhænger af størrelsen af gratisvarmetilskud, bygningens varmekapacitet og fyringsvirkningsgraden. I perioder med transmissionstab, men hvor varmebehovet dækkes af gratisvarmetilskud, vil man ikke kunne opnå 100 % udnyttelse af en efterisolering af klimaskærmen.

En reduktion i varmetabet slår typisk igennem med cirka 90 % på nettovarmebehovet for dårligt isolerede bygninger som opgraderes energimæssigt. I det tilfælde hvor fyringsvirkningsgraden også er 90 %, vil effekten på bruttovarmebehovet være 100 %. I tilfælde hvor fyringsvirkningsgraden er omkring 100 % - f.eks. en velisoleret varmeinstallation med kondenserende gaskedel eller fjernvarme installation - vil effekten på bruttovarmebehovet være lidt mindre end 100 %, typisk 85-90 %⁶. Men da indetemperaturen typisk er højere end de forudsatte 20°C , er varmetabet og dermed gradtimetallet større end forudsat og vil opveje, at udnyttelsesfaktoren er mindre end 1. Det vil derfor være rimeligt at regne med, at en ændring i varmetabet slår igennem med en faktor 1 på bruttovarmebehovet.

Bygningsreglementets energikrav til større renoveringer er en U-værdi på højest 0,20. Den nødvendige efterisolering afhænger naturligvis af isoleringsniveauet i den eksisterende konstruktion, og der typisk behov for 100 - 175 mm efterisolering. Anlægsudgiften til udvendig efterisolering ligger i størrelsesordenen 1500 - 2500 kr/m^2 ⁷. Udvendig efterisolering med puds direkte på isoleringen er billigst, mens løsningen med skeletkonstruktion og pladebeklædning er dyrest. Indvendig efterisolering koster omtrent det samme som pudsløsningen, men har som nævnt ovenfor en række ulemper. Håndværksmerudgiften til ekstra isolering (dvs. udover de 100 mm) er typisk 3-5 kr/m^2 pr. mm.

På denne baggrund er der i Tabel 3 vist typiske energibesparelser og anlægsudgifter ved udvendig efterisolering af forskellige ydervægskonstruktioner. Der er regnet med en ækvivalent varmeledningsevne for isoleringen på 0,040 W/mK , der inkluderer effekt af bindere og skeletkonstruktion.

Tabel 3. Energibesparelser og anlægsudgifter – udvendig efterisolering.

Ydervægskonstruktion	$t_{\text{før}}$ [mm]	$U_{\text{før}}$ [$\text{W/m}^2\text{K}$]	$t_{\text{efterisol.}}$ [mm]	U_{efter} [$\text{W/m}^2\text{K}$]	$\Delta E_{\text{ydervæg}}$ [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	$I_{\text{ydervæg}}$ [kr./m^2]
Uisoleret	0	1,50	175	0,20	117	2300
Dårligt isoleret betonelement	50	1,00	160	0,20	72	2240
Let isol. hulmur/træskeletvæg ¹	100	0,45	110	0,20	23	2040

¹ hhv. 10 % gennemmuringer og 20 % træ

⁶ Eksempelvis viser Be06-beregninger på administrations-eksempelbygningen i SBI anvisning 213, at hvis udgangspunktet er normalt dårlige U-værdier for klimaskærmen og ingen brug af solafskærmning, og bygningens klimaskærm opgraderes (og der benyttes fornuftig solafskærmning i sommerperioden, så overtemperaturer undgås), så vil reduktionen i varmetabet slå igennem med en faktor 0,86 på bruttovarmebehovet.

⁷ Isoleringstykkelse på 100 mm inkl. håndværksudgift / entreprenørens udsalgspris, rådgiverhonorar (15 %) og arbejdspladsindretning (7%). Der ses bort fra stilladsudgifter som også kan henføres til øvrige renoveringsarbejder.

Udvendig efterisolering af ydervægskonstruktioner er ca. 30 % mere energieffektiv end tilsvarende indvendig isolering⁸, da langt de fleste og væsentligste kuldebroer i væggen brydes. Samtidig er indvendig efterisolering næsten ligeså dyrt som udvendig efterisolering, og som nævnt en besværlig løsning, der kræver tæt dampspærre, hvilket kan være svært at realisere i praksis. Der foretages derfor ikke økonomiske analyser af indvendig efterisoleringsløsninger.

2.4 Tag- og loftkonstruktioner

2.4.1 Energibesparelsesmuligheder

Der er muligheder for at efterisolere etageadskillelser mod uopvarmede loftrum, skunkrum, skråvægge og gitterspærkonstruktioner samt flade tage. Der kan efterisoleres i etageadskillelser mod uopvarmede lofter ved indblæsning af isolering i selve etageadskillelsen. Isoleringstykkelsen er begrænset til mellem ca. 100 og 150 mm afhængigt af, om der er lerindskud. Hvis loftrummet er uudnyttet, men tilgængeligt, kan der udlægges isoleringsmåtter på afretningslag. Løsningen kan også typisk anvendes i tilgængelige skunkrum og over hanebånd. Flade tage kan ved konvertering til tag med hældning nemt blive efterisoleret til høj standard. Alternativt kan der foretages en udvendig efterisolering eller efterisolering ved indblæsning via en særlig billig og effektiv metode, hvor man kan nøjes med at afmontere de nederste sternbrædder.

2.4.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

I Tabel 4 er anført energibesparelser og priser for typisk efterisoleringstiltag i tag- og loftkonstruktioner. Der er anvendt samme formeludtryk for energibesparelser, som for ydervægge. Prisforudsætninger er anført nedenfor.

Tabel 4. Energibesparelser og priser for typiske efterisoleringstiltag i loft- og tagkonstruktioner.

Tagkonstruktion	$t_{\text{før}}$ [mm]	$U_{\text{før}}$ [W/m ² K]	$t_{\text{efterisol.}}$ [mm]	U_{efter} [W/m ² K]	ΔE_{tag} [kWh/m ² /år]	I_{tag} [kr./m ²]
Etageadskillelse	0	1,59	150	0,29	117	248
Skunk	0	1,85	250	0,15	153	290
Skunk	100	0,40	200	0,13	24	236
Gitterspær	50	0,55	250	0,12	39	252
Fladt tag (build-up)	50	0,68	130	0,15	48	495

Ad. Etageadskillelse: Der er forudsat en etageadskillelse mod et uopvarmet og udnyttet loftrum (uden indskudsler).

Ad. Skunk: Skunkrum vil i nogle tilfælde være fyldt op med arkivalier. Mange steder vil der også være en halvdårlig isolering, hvor det vil være billigere at fjerne isoleringen i stedet for en opretning, da isoleringsarbejdet udføres hen imod åbningen. Priser er derfor forudsat en ryddet skunk uden isolering. Hvor der er regnet med eksisterende isolering, antages denne at være i lige så god stand som efterisoleringen (opretning ikke påkrævet).

⁸ BYG-ERFA Erfaringsblad 04 07 29 Indvendig isolering - ældre ydermure over terræn

Ad. Gitterspær: Det er forudsat, at efterisoleringen kan lægges oven på spærfoden, at en eventuel eksisterende gangbro ikke ændres, samt at loftet er fremkommeligt.

Ad. Fladt tag: Der antages udvendig efterisolering af en eksisterende ventileret build-up tagkonstruktion, som af fugttekniske grunde skal være minimum samme tykkelse som den indvendige isolering. Ved en udvendig isolering kan den eksisterende ventilation lukkes (når den oprindelige konstruktion er tør). Pris er baseret på isolering lagt ud på eksisterende tagpap og afsluttet med to lag tagpap. Der er ikke regnet med at gøre noget ved eksisterende sternbrædder mm. Antal m² er min. 150, og taget forudsættes rengjort. Pris er inkl. diverse inddækninger, ovenlys, etablering af tagfald til eksisterende tagbrønde.

2.5 Terrændæk, fundamenter samt gulve mod kælder og krybekældre

2.5.1 Energibesparelsesmuligheder

I modsætning til tag- og loftkonstruktioner er efterisolering af terrændæk vanskeligt at gennemføre. I tilfælde af strøgulve kan der efterisoleres i det ca. 100 - 200 mm hulrum, men dette forudsætter, at gulvet helt eller delvist af- og genmonteres. Svømmende gulvkonstruktioner kan efterisoleres indvendigt med fugt- og vandafvisende isoleringsplader og ny gulvbelægning. For at undgå kondens på fugtspærrens overside skal man være opmærksom på, at isolansen af den isolering, der ligger under fugtspærren, skal være mindst lige så stor som isolansen over fugtspærren.

Hvis man ønsker at foretage en vidtgående isolering af en eksisterende terrændæk konstruktion, og det er udelukket at fjerne den eksisterende konstruktion og opbygge en ny opgraderet terrændæk konstruktion, er det muligt at anvende avancerede isoleringsmaterialer som vakuum isolering (VIP), der er maksimalt isolerende og dermed kun i beskedent omfang reducerer rumhøjden.

Kælder- og etagedæk kan isoleres indvendigt, men tykkelsen er typisk begrænset af en lille rumhøjde, og afhænger i øvrigt af kælderens anvendelse, etagedækkets konstruktion, lofthøjden i kælderen og fugtforholdene. Krybekældre, som i årevis har fungeret problemfrit skal man være forsigtig med at efterisolere, da der typisk forefindes den rette balance imellem fugtafgivelse og ventilation. En efterisolering vil mindske temperaturen i krybekælderen, hvilket vil reducere luftens evne til at optage fugt. Hvis krybekælderdekke er uisolere eller dårligt isoleret, kan det som udgangspunkt efterisoleres op til en U-værdi på 0,30, hvis blot ventilationen er etableret efter forskrifterne.

I bygninger med terrændæk udgør fundamentet typisk en betydelig kuldebro. I forbindelse med etablering af nye gulve kan denne kuldebro reduceres betydeligt. Generelt set kan kuldebroen reduceres ved at isolere terrændækket, ydervæggen og selve fundamentet, hvor det især er isolering af terrændækket og udvendig isolering af selve fundamentet der hjælper på linietabet. En afledt effekt af at nedsætte varmetabet via fundamentet er, at det vil hæve den indvendige overfladetemperatur væsentligt i den kritiske samling mellem gulv og ydervæg og derved reducere kondensrisikoen. Fundamentet skal ses i sammenhæng med de tilstødende bygningsdele og efterisolering foretages bedst i forbindelse med udvendig efterisolering af ydervæggsfacader.

2.5.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Energibesparelsen $\Delta E_{\text{dæk}}$ ved efterisolering af terrændæk kan beregnes ud fra formelen for ydervægge udvidet med en temperaturfaktor b:

$$\Delta E_{\text{dæk}} = b \cdot 90 \cdot (U_{\text{før}} - U_{\text{efter}}) \quad [\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

Hvor b er temperaturfaktoren, som udtrykker, at der på den udvendige side kan være en anden temperatur end udetemperaturen og vice versa. Dette er netop tilfældet for et terrændæk. Det er normalt at regne med en temperaturfaktor på 0,7 for terrændæk uden gulvvarme⁹. For dæk med gulvvarme med en fornuftig lav fremtemperatur på ca. 35°C kan der benyttes en temperaturfaktor på 1,0. Samme formel og en temperaturfaktor på 0,7, kan også anvendes for kældergulve, kælderydervægge i mere end 2 m's dybde og inde under bygninger, samt etagedæk over uopvarmede kældre og krybekældre.

Vakuumsolering isolerer i praksis ca. 5 gange bedre end traditionelle isoleringsmaterialer, svarende til at 20 mm VIP har omtrent samme isoleringsevne som f.eks. 100 mm mineraluld. Men da den typiske materialepris er 700-1100 kr/m², hvor den er ca. 100 kr/m² for 100 mm mineraluld, eller en faktor 9 større, er VIP ikke umiddelbart attraktivt, men kan i nogle tilfælde være eneste mulighed for en god indvendig efterisolering af et terrændæk kombineret med en tilstrækkelig lille byggehøjde.

Energibesparelser og anlægsudgifter for typiske tiltag er vist i Tabel 5.

Tabel 5. Energibesparelser og anlægsudgifter ved efterisolering af typiske terræn-, kælder- og etagedæk

Konstruktion	t _{før} [mm]	U _{før} [W/m ² K]	t _{efterisol.} [mm]	U _{efter} [W/m ² K]	ΔE _{dæk} [kWh/m ² /år]	I _{dæk} [kr./m ²]
Terrændæk, strøgulv	Uisol./let isol.	0,45/0,30	175/125	0,15	19/9	205/146
Terrændæk med VIP	Uisol./let isol.	0,45/0,30	30	0,15/0,13	19/11	900
Etagedæk	Uisoleret	1,50	250	0,15	85	377
Krybekælderdek	Uisoleret	1,50	100	0,30	76	171

⁹ Jf. SBI-anvisning 213: "Bygningers energibehov – Beregningsvejledning", SBI 2007

2.6 Klimaskærmens lufttæthed

2.6.1 Energibesparelsesmuligheder

Ringe lufttæthed af klimaskærmen er problematisk af flere årsager. Der er tre væsentlige hovedeffekter af dårlig lufttæthed:

Udtrængning af varm indeluft i bygningskonstruktioner
Infiltration af kold udeluft ind i bygningen
Ukontrolleret luftskifte uden om ventilationsanlægget

Fugtig og varm indeluft afkøles, når den ledes gennem bygningskroppen, hvilket kan resultere i kondensering i bygningskonstruktionen og efterfølgende råd- og svampeproblemer og bygningsskader. Kold udeluft kan forårsage betydelige varmetab (jf. nedenfor), mens det i relation til at opnå en effektiv mekanisk ventilation med varmegenvinding er helt afgørende vigtig med en god lufttæthed, så en så stor del af luftskiftet som muligt foregår via ventilationsanlæggets varmegenvinder/-veksler og ikke via infiltration af kold udeluft.

Man kan undgå varmetab, bygningsskader, problemer med indeklimaet og varmetab på en gang ved at forbedre klimaskærmens lufttæthed og etablere kontrolleret ventilation med varmegenvinding.

Udgangspunktet for at opnå en god lufttæthed ved renovering af eksisterende bygninger er at fastlægge/måle den generelle lufttæthed før renoveringen ved en standard trykprøvning ved 50 Pa (en såkaldt "blower door test"), samt at supplere med en grundig termografering med henblik på at lokalisere luft-utætheder (og øvrige kuldebroer). Med dette grundlag kan der beskrives effektive løsninger til sikring af en god lufttæthed.

Opnåelse af en god lufttæthed kræver stor omhyggelighed ved opsætning af dampspærren. Eksempelvis skal der udvises stor omhyggelighed ved alle indføringer af kabler og rør. Klimaskærmens lufttæthed behandles i en ny SBI-anvisning 214, som indeholder eksempler på, hvordan man etablerer en lufttæt klimaskærm i nybyggeriet på basis af løsninger, der er kendte og anvendes i dag. Disse principper kan også anvendes på eksisterende bygninger.

2.6.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

De fleste eksisterende bygninger har stor luft-utæthed. Typiske resultater fra lufttætheds-målinger med standard trykprøvning ved 50 Pa viser et luftskifte på 3-10 gange per time. I nye bygninger må luftskiftet ikke overstige 1,5 l/s/m² svarende til et luftskifte på cirka 2,5 gange pr. time. I lavenergibygninger er der flere eksempler på, at man har opnået et luftskifte på under 1 gang pr. timen. Kravet til passivhus standarden er 0,6 gange pr. time.

Der kan angives en relativt simpel formel til beregning af infiltrationstabt:

$$E_{\text{infil tab}} = 0,655 \cdot \left[t_{\text{brugstid}} \cdot (0,04 + 0,06 \cdot q_{50}) + t_{\text{lukket}} \cdot (0,06 \cdot q_{50}) \right] \quad [kWh / m^2 \text{ pr. år}]$$

Hvor q_{50} (l/s/m²) er klimaskærmens lufttæthed målt ved en standard trykprøvning ved 50 Pa, t_{brugstid} er brugstiden (timer pr. uge) og t_{lukket} er tiden hvor bygningen ikke er i brug (timer pr. uge). Brugstiden i bygninger som anvendes til boliger, er normalt hele døgnet (168 timer/uge), mens den for andre bygninger er 45 timer/uge.

Formlen er baseret på SBI-anvisning 213's angivelser af, hvordan infiltrationstab skal beregnes. Infiltration ved tilfældig åbning af vinduer og døre (de 0,04), forekommer kun i brugstiden.

Hvis q_{50} foreligger i enheden gange i timen (h^{-1}), kan den konverteres til l/s pr. m^2 opvarmet etageareal ud fra følgende formel:

$$q_{50} [l/s/m^2] = q_{50} [h^{-1}] \cdot \frac{h_{rum} \cdot f_{A_N/A_B}}{3,6}$$

Hvor h_{rum} er rumhøjden, og faktoren f er forholdet mellem nettoareal og bruttoareal (det opvarmede etageareal), som typisk er 0,8 – 0,9.

Eksempel:

I eksemplet beregnes energibesparelsen ved at forbedre lufttætheden af en meget utæt bygning via en gennemgribende energirenovering. Det antages, at lufttætheden efter energirenoveringen svarer til niveauet for nye bygninger. Det antages yderligere, at bygningen anvendes som skole, daginstitution, kontorbygning o. lign., hvor man som standard kan regne med en brugstid på 45 timer/uge. I Tabel 6 er angivet forudsætninger vedrørende lufttæthed.

Tabel 6. Trykprøvningsresultat før og efter en energirenovering - luftstrøm via klimaskærmen ved trykforskel på 50 Pa.

	<i>Før</i>	<i>Efter</i>
$q_{50} [h^{-1}]$	10	2,5
$q_{50} [l/s/m^2]$	5,9	1,5

$$E_{\text{infil.tab, før}} = 0,655 \cdot [45 \cdot (0,04 + 0,06 \cdot 5,9) + 123 \cdot (0,06 \cdot 5,9)] = 40 \text{ kWh} / m^2 \text{ pr. år}$$

$$E_{\text{infil.tab, efter}} = 0,655 \cdot [45 \cdot (0,04 + 0,06 \cdot 1,5) + 123 \cdot (0,06 \cdot 1,5)] = 11 \text{ kWh} / m^2 \text{ pr. år}$$

Energibesparelsen er således 29 kWh/m² pr. år.

En eksisterende bygning vil typisk kunne opnå samme lufttæthed som nye bygninger ved almindelig god udførelse eller en gennemgribende renovering. Energibesparelsen er derfor i princippet gratis.

Typiske merudgifter for at opnå en endnu bedre lufttæthed svarende til passivhus standarden ($q_{50} \leq 0,6 h^{-1} = 0,35 l/s/m^2$) er ca. 100 kr/ m^2 , hvilket er baseret på tyske erfaringer. Infiltrationstabet reduceres således yderligere til 3,5 kWh/ m^2 pr. år., svarende til en energibesparelse i forhold til det opnåede niveau ovenfor på 7,5 kWh/ m^2 .

Det skal bemærkes, at tiltag til forbedring af lufttætheden også skal ses som tiltag for at beskytte bygningskonstruktionerne, forbedre sundheden og komforten, og de bør således ikke betragtes isoleret set i forhold til varmebesparelser.

2.7 Vinduer

2.7.1 Energibesparelsemuligheder

Varmetabet fra vinduer udgør en betydelig del af det samlede varmetab fra bygninger. I bygninger med gamle vinduer med et enkelt lag glas eller gamle termoruder kan varmetabet fra vinduerne udgøre op mod halvdelen af bygningens varmetab. I løbet de sidste 10-20 år er der sket en betydelig udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber, hvor specielt selve rudedelen er markant forbedret.

Da langt de fleste vinduer i offentlige bygninger er mere end 20 år gamle, er der derfor et stort energibesparelspotentiale ved at udskifte eller renovere vinduerne. Om vinduerne bør renoveres eller udskiftes til nye afhænger i høj grad af kvaliteten af de eksisterende vinduer, og om der er tale om bevaringsværdige vinduer i forhold til bygningens arkitektoniske udtryk.

Ved vurdering af vinduers energimæssige egenskaber, bør man både fokusere på U-værdien (varmetransmissionskoefficienten), som beskriver varmetabet, og g-værdien, (den totale solenergitransmittans), som beskriver den transmitterede solenergi. Sidstnævnte er vigtig, da solindfaldet gennem vinduet bidrager til rumopvarmningen i fyringssæsonen.

Ruder

Frem til 1960'erne brugte man primært trævinduer med et lag glas med en U-værdi for ruderne på ca. $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. En stor del af disse gamle vinduer er stadig bevaret, og ofte er de forsynet med et-lags forsatsvinduer indvendigt, hvilket reducerer U-værdien til ca. det halve. I starten af 1960'erne blev den forseglede termorude bestående af to lag glas med luft i mellemrummet opfundet. Derved forbedredes U-værdien til ca. $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, altså mere end en halvering i forhold til et lag glas. Termoruderne blev herefter meget udbredt og anvendt i det meste af byggeriet helt frem til midt i 1990'erne, hvor energiruderne så dagens lys.

Med energiruder, som er termoruder med en eller flere lavemissionsbelægninger og ædelgas i hulrummet (typisk argon), er U-værdien for ruden kommet ned på ca. $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for to-lags ruder og for tre-lags ruder kan U-værdien for ruden reduceres helt ned til ca. $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lavemissionsbelægningerne i nye ruder gør, at både solenergi- og lystransmittansen reduceres lidt sammenlignet med klart glas uden belægninger. Belægningerne er dog i dag blevet så gode, at det normalt ikke kan ses med det blotte øje. Der kan delvis kompenseres for dette ved at anvende jernfattigt glas, som er mere klart.

Da mange offentlige bygninger stadig har gamle termoruder eller enkelt lag glas (ofte med gamle forsatsruder) i vinduerne, er der derfor et ganske stort energibesparelspotentiale ved at udskifte ruderne. For vinduer med gamle termoruder kan varmetabet på en nem måde reduceres betydeligt alene ved at udskifte ruderne til nye energiruder. Mange af disse vinduer med termoruder er dog fra perioden fra 1960'erne til midt i 1990'erne, hvor vinduer i stort omfang blev fremstillet af træ i dårlig kvalitet og ringe holdbarhed. Derfor er en total udskiftning af vinduerne til nye vinduer af bedre kvalitet og med energiruder ofte det mest rentable.

Varm kant

I traditionelle termoruder og standard-energiruder er afstandsskinnen, som sidder i kanten af ruden mellem glassene normalt lavet af aluminium. Da aluminium har en meget høj

varmeledningsevne resulterer disse afstandsprofiler i en betydelig kuldebro, som øger vinduets samlede U-værdi og ofte giver anledning til kondens indvendigt på ruden langs kanten for neden, da glasset her bliver koldt. Ved at udskifte aluminiumskantkonstruktionen med rustfrit stål eller endnu bedre plast profil – en såkaldt ”varm kant” elimineres kondensproblemet, og U-værdien for vinduet kan reduceres med ca. 8 % afhængig af vinduet udformning og materialer.

Forsatsvinduer

En stor del af vinduerne i offentlige bygninger er fra før 1960, og mange af dem er bevaringsværdige af arkitektoniske grunde, og fordi de blev lavet af kvalitetstræ og derfor stadig er i forholdsvis god stand. Energimæssigt er de dog mindre gode pga. rudernes dårlige isoleringsevne. Disse vinduer som generelt bør bevares kan forbedres energimæssigt set ved at montere forsatsvinduer med energiglas, dvs. et lag glas med hård lavemissionsbelægning. Dette vil reducere U-værdien for et typisk dannebrogsvindue fra ca. 4,5 W/m²K, hvis der er enkelt lag glas, eller fra 2,4 W/m²K, hvis der i forvejen er forsatsvindue uden belægning til ca. 1,7 W/m²K.

Fordele ved forsatsløsningen i vinduer med poster og evt. sprosser sammenlignet med forseglede energiruder er, at kuldebroer fra afstandsskinnen undgås samt at evt. sprosser bevares i deres oprindelige slanke dimensioner. Sidstnævnte medfører, at rudearealet er større end for forseglede ruder som typisk kræver bredere profiler. Derfor opnås høj solenergi- og lystransmittans og derudover har den hårde lavemissionsbelægning højere solenergitransmittans end blød lavemissionsbelægning, som anvendes i forseglede ruder. Dette resulterer i, at energitilskuddet for forsatsløsningen er ca. lige så stort som for samme vindue med energiruder, på trods af at energiruder i sig selv har lavere U-værdi.

Forsatsvinduesløsningen har i øvrigt en meget lang levetid, hvis det vedligeholdes fornuftigt, idet ruden ikke kan punktere. Normalt kan man regne med en levetid på 100 år. Til sammenligning har en forseglede energirude typisk en levetid på ca. 20 år. Ved at montere et forsatsvindue med energirude kan vinduets U-værdi reduceres yderligere til ca. 1,3 W/m²K. Til gengæld reduceres solenergi- og lystransmissionen og levetiden forkortes pga. den forseglede rude.

Ramme-karmprofil

I modsætning til rudeområdet har der i Danmark ikke været nævneværdig udvikling af energimæssigt bedre ramme-karmprofiler. I forbindelse med stramningen af energibestemmelserne i det nye bygningsreglement og set i lyset af at rudedelen næppe kan forbedres meget mere, er der dog i de seneste år kommet øget fokus på udvikling af ramme-karmprofiler med bedre energimæssige egenskaber.

Da ramme-karmprofilerne i typiske vinduer udgør 20-40 % af vinduesarealet har de forholdsvis stor betydning på vinduets varmetab. Særligt i vinduer med mange opdelinger har profilerne stor indvirkning på vinduets U-værdi. Der er flere måder at forbedre egenskaberne for ramme-karmprofiler på. Da U-værdien for ramme-karmprofiler typisk er højere end for ruden, kan vinduets samlede U-værdi reduceres ved at reducere profilbredden, idet ramme-karmarealet herved mindskes. Det større rudeareal betyder, at solenergitransmittansen øges, hvilket giver større energitilskud

Materialerne har naturligvis stor betydning for de termiske egenskaber. I moderne vinduer er det populært at anvende aluminium pga. god styrke og minimalt behov for vedligeholdelse. Men aluminiums meget høje varmeledningsevne resulterer i høje U-værdier for profilerne, hvis de ikke designes hensigtsmæssigt med en effektiv kuldebroafbrydelse. Den energimæssigt bedste måde at anvende aluminium i vinduer er som udvendig beklædning af profiler lavet af fx træ. Herved bevares træprofilets gode termiske egenskaber og aluminiumsbeklædningen sørger for minimal vedligeholdelse. Ved at anvende materialer som både har gode styrkemæssige og termiske egenskaber, som f.eks. glasfiberarmeret polyester, er det muligt at få meget smalle profiler (ca. 50 mm) med lav U-værdi (ca. 1,5 W/m²K).

2.7.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Energibesparelsen ved renovering eller udskiftning af ruder og vinduer kan beskrives vha. energitilskuddet som beregnes ud fra følgende simple formel:

$$E_{ref} = 196,4 \cdot g - 90 \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2\text{K}]$$

Energitilskuddet beskriver solindfaldet ind gennem vinduet minus varmetabet ud gennem vinduet. Et positivt energitilskud betyder således, at der kommer mere varme ind gennem vinduet end der tabes ud igen, og dermed vil vinduet bidrage positivt til rumopvarmningen i bygningen.

I Tabel 7 er energimæssige egenskaber for forskellige dannebrogsvinduer vist.

Tabel 7. Energimæssige egenskaber for forskellige typer af dannebrogsvindue med dimensionen 1,163 x 1,834 m (b x h) uden sprosser og med forskellige rudesystemer. Energibesparelsen er opgjort ift. et typisk oprindeligt forsatsvindue

Vinduestype	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi	Energitilskud [kWh/m ² /år]	Energibesparelse [kWh/m ² /år]
Oprindeligt - med et lag glas	4,4	0,54	-294	-169
- og oprindeligt forsatsvindue	2,4	0,47	-125	0
- og forsatsramme m. energiglas	1,7	0,44	-66	59
- og forsatsenergirude	1,3	0,33	-51	74
Nyt trævindue med termorude	2,5	0,44	-138	-13
Nyt trævindue med energirude	1,6	0,34	-77	48
Nyt trævindue med energirude og varm kant	1,5	0,34	-68	57
Nyt alubeklædt træ-alu vindue med termorude	2,5	0,43	-140	-15
Nyt alubeklædt træ-alu vindue med energirude	1,7	0,34	-86	39

I Tabel 8 er energimæssige egenskaber for forskellige et-fags vinduer vist.

Tabel 8. Energimæssige egenskaber for forskellige et-fags vinduer i standardmålene 1,23 x 1,48 m (b x h) med forskellige rudesystemer (FGP = glasfiberarmeret polyester).

Vinduestype	Rude		Ramme-karm			Vindue		Energi-tilskud
	U_g	g	bredde	U_f	\square	U_{tot}	g_{tot}	E_{ref}
	W/m ² K		m	W/m ² K	W/mK	W/m ² K		kWh/m ²
Trævindue m. 2-lags termorude	2,8	0,76	0,10	1,4	0,08	2,62	0,55	-128
Trævindue m. 2-lags energirude	1,17	0,63	0,10	1,4	0,05	1,35	0,46	-33
PVC vindue m. 2-lags energirude	1,17	0,63	0,115	1,72	0,045	1,45	0,43	-46
Alu vindue m. 2-lags energirude	1,17	0,63	0,06	2,76	0,08	1,66	0,52	-47
Træ/alu/PVC m. 2-lags energirude	1,17	0,63	0,056	2,91	0,049	1,58	0,53	-39
FGP m. 2-lags energirude	1,18	0,63	0,057	1,64	0,034	1,35	0,53	-18
FGP m. 3-lags energirude	0,52	0,46	0,057	1,42	0,036	0,76	0,38	7
Nulenergivindue, DTU	1,1	0,67	0,054	1,33	0,034	1,23	0,57	0

Det fremgår af tabellen, at der kan opnås en energibesparelse på $-33 - (-128) = 95 \text{ kWh/m}^2$ vindue ved at udskifte den gamle termorude i et typiske et-fags trævindue med en energirude. Ved at udskifte gamle trævinduer med 2-lags termoruder til et vinduer med ganske smalle ramme-karmprofiler af glasfiberarmeret polyester og en tre-lags rude med krypton opnås en energibesparelse på $7 - (-128) = 135 \text{ kWh/m}^2$ vindue. Dette vindue er et af de energimæssigt bedste på det danske marked. En tilsvarende beregning foretaget i programmet Be06 på en typisk administrationsbygning (eksempelbygning som følger med programmet) giver en energibesparelse på 163 kWh/m^2 .

Anlægsudgifterne for udskiftning eller istandsættelse/renovering af vinduer afhænger af flere forskellige forhold. Hvis de eksisterende vinduer er af træ og er i god stand er der som regel ingen grund til at skifte hele vinduet. Her er det nok at udskifte ruderne. Udskiftning af termoruder til nye energiruder er normalt en nem og forholdsvis billig løsning, som giver stor energimæssig gevinst. Anlægsudgifterne ved udskiftning af termorude til energirude er ca. 1600 kr. pr m² rude. Hvis vinduernes ramme/karmprofiler derimod er i dårlig stand eller de er af stål eller aluminium uden kuldebroafbrydelse er der god grund til at skifte hele vinduet, hvilket typisk koster mellem 3.000 og 5.000 kr./m². Udgifterne ved udskiftning af ruder eller vinduer bør i høj grad sammenholdes med rudernes/vinduernes alder. Da forseglede ruder typisk har en levetid på 20-30 år vil der i mange tilfælde være tale om ruder, som under alle omstændigheder skal udskiftes og det kan derfor forsvares kun at medregne merprisen på energiruder i forhold til termoruder. I takt med at de gammeldags termoruder er ved at blive udfaset helt fra markedet er merprisen ganske lille og hos flere forhandlere er prisen på de to rudetyper den samme.

For gamle bevaringsværdige trævinduer er den bedste løsning ofte at montere forsatsrammer med enkelt lag energiglas eller energirude. Anlægsudgifterne for montering af forsatsrammer er 2.000 til 3.000kr./m² og afhænger meget af typen. Hvis selve vinduet er i dårlig stand men stadig bevaringsværdigt, bør det istandsættes. Omkostningerne herved er ca. de samme som prisen for et nyt tilsvarende vindue.

I Tabel 9 er vist eksempler på anlægsudgifter for forskellige vinduesløsninger.

Tabel 9. Priser på udskiftning af en større mængde ruder og vinduer.

Vinduestiltag	Anlægsudgifter kr./m ²
2-lags energirude	1611
Et-fags trævindue med energirude 1188x1188 mm	2622
Et-fags plastvindue med energirude, 1188x1188 mm	2175
Et-fags vindue af træ/aluminium med energirude, 1088x1188 mm	2623
Et-fags vindue af glasfiberarmeret polyester med 2-lags energirude ¹⁰ , 1088x1188 mm	3482
Dannebrogsvindue, træ med energiruder, 1188x1588 mm	3350
Forsatsvindue, træ med energiglas. 468x1318 mm, 2 stk	2383
Forsatsrude, energiglas, 450x1400 mm, 2 stk	1390
Renovering/istandsættelse af dannebrogstrævindue + forsatsenergiglas (heraf 6500,- til istandsættelse ¹¹)	5830

¹⁰ Tilsvarende vindue med 3-lags energirude skønnes at koste 500 kr/m² ekstra.

¹¹ Fra artikel: Hvad koster et vindue? – Totaløkonomisk valg af vinduer. Thomas Kampmann, Center for Bygningsbevaring

2.8 Ventilation

2.8.1 Energibesparelsmuligheder

Ventilation er vigtig for at opretholde et sundt indeklima med en god luftkvalitet og for at undgå at bygningskonstruktioner nedbrydes af f.eks. råd og svamp. Hvis ventilationen tilvejebringes af naturlige ventilationssystemer eller mekanisk udsugning eller en kombination af de to, er der et relativt stort varmetab forbundet med luftskiftet og ventilationstabet udgør i sådanne bygninger derfor typisk en stor andel af det samlede varmetab. Dette er særligt tilfældet for eksisterende bygninger, som efterisoleres, men hvor der ikke gøres noget ved ventilationstabet.

Omfanget af ventilation er bestemt af bygningsreglementets krav, som for opholdsrum i dag- og døgninstitutioner og undervisningsrum i skoler og lignende foreskriver, at de skal ventileres med mekaniske ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning, og luftmængder på følgende for dag- og døgninstitutioner: 3 l/s pr. barn, 5 l/s pr. voksen og 0,4 l/s pr. m² nettoareal, og for undervisningsrum: 5 l/s pr. person og 0,4 l/s pr. m² nettoareal. De krævede luftmængder i andre rum/bygninger som f.eks. kontorer (ikke boliger), afhænger af rumstørrelse og anvendelse.

Et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding kan typisk reducere ventilationstabet med cirka 80 %, samtidig med at varmekomforten og luftkvaliteten forbedres. Den friske og filtrerede indblæste luft er mindst 14°C og typisk 17°C, hvilket normalt vil give anledning til trækgener, hvilket er udbredt i bygninger med naturlig ventilation. En vigtig forudsætning for at få det fulde udnytte af den effektive varmegenvinding er, at varmetabet ved infiltration af udeluft gennem klimaskærmen reduceres, så størstedelen af luftskiftet foregår igennem varmegenvinderen. Derfor er det helt afgørende, at klimaskærmens lufttæthed forbedres i forbindelse med etablering af ventilation med varmegenvinding.

Når en eksisterende bygning renoveres, kan der opnås energibesparelser ved enten at ombygge eller udskifte et eksisterende ventilationsanlæg eller ved at installere et nyt i bygninger, hvor der ikke tidligere har været et anlæg. Effektiv varmegenvinding, optimalt design af kanalsystemet, brug af lavenergiventilatorer og sikring af en god lufttæthed af klimaskærmen, er nøglen til at udnytte et stort potentiale for energibesparelser på ventilation, samt sikre en fornuftig totaløkonomi og indeklima.

En effektiv varmegenvinding sikres ved at vælge et ventilationsaggregat med en effektiv modstrømsvarmeveksler (80-90 %). Et optimalt design af kanalsystemet er afgørende for at kunne reducere elforbruget til driften af ventilatorerne og udføres med fokus på mindst mulige tryktab. Aggregatets ventilatorer bør være lavenergimodeller med EC motorer, mens lufttætheden sikres ved f.eks. at følge anvisningerne i ny anvisning fra Statens Byggeforskningsinstitut¹².

Der kan typiske opnås væsentlige besparelser i eksisterende ventilationsanlæg ved at foretage en indregulering af luftmængder, optimering af driften og ved regelmæssig vedligeholdelse (se også afsnittet ”Bygningsdrift”).

¹² SBI-anvisning 214: Klimaskærmens lufttæthed, 1. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut 2007.

2.8.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Ventilationstabet for dag- og døgninstitutioner, skolers undervisningsrum og rum og bygninger med lignende anvendelse, kan beregnes ud fra følgende formeludtryk:

$$E_{\text{vent tab}} = 0,655 \cdot \left[(1 - \eta_{\text{vgv}}) \cdot \left[t_{\text{brugstid}} \cdot \frac{(5 \cdot n_{\text{voksne}} + 3 \cdot n_{\text{børn}} + 0,4 \cdot A_N)}{A_B} + t_{\text{lukket}} \cdot 0,4 \cdot \frac{A_N}{A_B} \right] \right] \quad [\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

Hvor η_{vgv} er varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad og n_{voksne} og $n_{\text{børn}}$ er hhv. antal voksne og børn. t_{brugstid} er brugstiden (timer pr. uge) og t_{lukket} er tiden, hvor bygningen ikke er i brug (timer pr. uge). A_N og A_B er henholdsvis netto og brutto etagearealet, og forholdet mellem dem er typisk 0,85.

Elforbruget til ventilatordriften beregnes på følgende vis:

$$E_{\text{elforbrug}} = 8,76 \cdot q_m \cdot \text{SEL} \quad [\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

Hvor q_m (l/s/m^2) er den gennemsnitlige volumenstrøm gennem anlægget, og SEL (kJ/m^3) er det tilsvarende specifikke elforbrug til lufttransport (ventilatorer og reguleringsudstyr).

Eksempel på energibesparelse ved ventilationstiltag:

I en ældre daginstitution med 75 voksne og 15 børn udskiftes et eksisterende ventilationsanlæg med et nyt og mere effektivt; aggregat med modstrømsveksler og ventilatorer med EC motorer. Der skiftes to aggregater, da der antages separate aggregater i børnehaven og vuggestue. Der antages samme luftmængder både før og efter renoveringen. Det antages endvidere, at anlægget er i normal drift 45 timer/uge, og at det i resten af tiden leverer et grundluftskifte. Infiltrationstabet antages at være det samme. Netto- og bruttoarealer er henholdsvis 765 m^2 og 900 m^2 . I Tabel 6 er angivet forudsætninger for varmevekslereffektivitet og elforbrug før og efter tiltaget.

Tabel 10. Tabel over ventilationsparametre før og efter.

	Før	Efter
$\eta_{\text{vgv}} [-]$	0,50	0,85
SEL [kJ/m^3]	2,5	1,5
q_m [l/s/m^2]	0,47	0,47

$$E_{\text{vent tab, før}} = 0,655 \cdot (1 - 0,50) \cdot \left[45 \cdot \frac{(5 \cdot 75 + 3 \cdot 15 + 0,4 \cdot 765)}{900} + (168 - 45) \cdot 0,4 \cdot \frac{765}{900} \right] = 25,6 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

$$E_{\text{vent tab, efter}} = 7,7 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}]$$

$$E_{\text{elbesparelse}} = 8,76 \cdot 0,47 \cdot (2,5 - 1,5) = 4,1 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ pr. år}$$

Det ses, at ventilationstabet reduceres med $25,6 - 7,7 = 17,9 \text{ kWh/m}^2$ og at elforbruget reduceres med $4,1 \text{ kWh/m}^2$. Med en primærenergifaktor på 2,5 og en antagelse om, at

reduktionen i varmetabet slår 100 % igennem på varmebehovet, bliver den samlede energibesparelse 28,1 kWh/m² pr. år eller svarende til 25 MWh/år for hele institutionen

Et nyt ventilationsaggregat til institutionen i ovenstående eksempel koster ca. 45.000 kr. pr. styk inkl. levering og montering, hvilket svarer til 100 kr/m² for to aggregater. Et andet oplagt tiltag i ældre og primært naturligt ventilerede offentlige institutioner (f.eks. administrationsbygninger) er at installere et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Hvis der antages en luftmængde som i eksemplet, vil varmebesparelsen være 43,5 kWh/m²/år set i forhold til naturlig ventilation uden varmegenvinding. Hele anlægget inkl. kanalsystem vil typisk koste i omegnen af 300 kr/m². Udgifter til drift og vedligeholdelse (udover elforbrug), vil typisk bestå af et årligt serviceeftersyn og rensning hvert 5 år, som simpelt kan medregnes ved at antage en udgift på ca. 3 kr./m²/år. Konsekvenser af begge tiltag er vist i Tabel 11.

Tabel 11. Energibesparelser, anlægsudgifter og driftsudgifter ved to typiske ventilationstiltag.

Tiltag	$\Delta E_{\text{årlig}}$ kWh/m ² /år	I_{tiltag} kr./m ²	$VO_{\text{årlig}}$ kr./m ² /år	$\Delta E_{\text{drift, el, årlig}}$ kWh/m ² /år
Nye effektivere ventilationsaggregater	28,1	100	Uændret	Indregnet i den årlige energibesparelse
Ventilationsanlæg med varmegenvinding	43,5	300	3	6,2

2.9 Varmeinstallationer

2.9.1 Energibesparelsesmuligheder

Varmeinstallationer udgør generelt et betydeligt potentiale for energibesparelser i eksisterende bygninger. Det skyldes, at der er væsentlige og unødige varmetab og elforbrug forbundet med produktion og fordeling af varme. De typiske muligheder for energibesparelser er forklaret nedenfor.

Efterisolering af varmeinstallationer

Efterisolering af varmeinstallationer omfatter varmtvandsbeholdere, varmevekslere, varmerør, ventiler, pumper mv. Over de senere år er der kommet fokus på problemer med uisolerede varmeinstallationer, idet der er blevet lavet flere undersøgelser, der viser, at mange nyere og renoverede ejendomme ikke overholder standard kravene til teknisk isolering¹³.

En af de hyppigst forekommende fejl er manglende isoleringstykkelse på rør for varme og varmt brugsvand. Hovedproblemet er, at teknisk isolering ikke har haft tilnærmelsesvis den samme opmærksomhed hos byggeriets parter og i forbindelse med den kommunale byggesagsbehandling, som andre områder. Derfor vurderes der generelt at være gode muligheder for forbedringer af varmeinstallationers isolering i offentlige bygninger.

En oplagt mulighed er at opgradere til et isoleringsniveau svarende til standardkravene eller bedre i forbindelse med udskiftning af nedslidte fordelingsanlæg for varme og varmt brugsvand. Desuden er der muligheder for at efterisolere gamle anlæg med dårlig isolering, herunder varmerør ført i uopvarmede kældre mv.

¹³ Dansk Standard DS 452: Termisk isolering af tekniske installationer

Udskiftning af ældre fjernvarmeinstallationer og kedler

Bygninger til offentlige formål udgør tilsammen en meget stor forbrugergruppe for den samlede fjernvarmeforsyning. Bygningernes fjernvarmeinstallationer i form af varmeproducerende anlæg kan være enten direkte, varmeveksler eller blandesløjfe anlæg med varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer. I disse anlæg er der mulighed for at udskifte til nye, mere effektive og bedre isolerede komponenter. Det samme gælder kedler, hvor udskiftning og eventuelt omstilling til fjernvarme vil resultere i energibesparelser og miljøforbedringer.

Det er vigtigt i forbindelse med energirenovering af offentlige bygninger, at varmefordelingsanlæg samt varmeforbrugende anlæg (radiator-, gulvvarme, ventilations- og varmt brugsvandsanlæg) er dimensioneret og indreguleret forskriftmæssigt korrekt, så der opnås den nødvendige afkøling af vandet i varmeanlægget. Dette kan være en stor udfordring, når varmebehovet nedsættes betydeligt, og særligt i tilfælde hvor eksisterende varmeforbrugende anlæg ikke renoveres/udskiftes.

Udskiftning af ældre uregulerede cirkulationspumper og tilpasning af kapacitet

De fleste varmeinstallationer i offentlige bygninger indeholder en eller flere cirkulationspumper. Der har de senere år været ført kampagner for udbredelse af energieffektive cirkulationspumper.

Nye og betydeligt mere effektive sparepumper med bedre reguleringsmulighed er kommet på markedet i løbet af de sidste par år, og det vil ofte være en særdeles god investering at udskifte eksisterende pumper, også selvom de er forholdsvis nye. De potentielle energibesparelser kan sikres ved at stille krav om at anvende A-mærkede Sparepumper ved udskiftning af gamle cirkulationspumper i offentlige bygninger. Dette kan ske ved at stille krav herom i cirkulæret om energieffektivisering i statens bygninger, som nu også kommunerne arbejder ud fra. En del kommuner har allerede haft stor succes med udskiftning til sparepumper.

Behovsstyring af cirkulation på varmt brugsvand

Cirkulationen af varmt brugsvand har til formål at sikre 50°C varmt brugsvand fremme ved brugsstederne inden for 10 sekunder¹⁴. Dette indebærer, at varmt brugsvand med en fremløbstemperatur på 55°C (for at tage hensyn til varmetabet på rørstrækningen) via en pumpe cirkulerer ud til de enkelte tapsteder og retur til bygningens varmeforsyning, så der altid er varmt vand fremme ved brugsstederne. Dette giver typisk anledning til konstant og ukontrollerbart varmetab af betydelig størrelse, som i dårligt isolerede bygninger kan nyttiggøres, mens det i velisolerede/efterisolerede bygninger i højre grad ikke vil kunne udnyttes og ligefrem vil føre til øget kølebehov. Behovsstyring på cirkulering af det varme brugsvand er således et oplagt tiltag til energibesparelser, idet der ikke cirkuleres varmt brugsvand i visse perioder af døgnet, f.eks. fra 1 timer efter og indtil 1 timer før bygningens normale brugstid. Styringen af cirkulationspumpen kræver relativt simpel automatik, og at pumpen er egnet til hyppige genstarter.

¹⁴ Dansk Standard DS 439: Norm for vandinstallationer

2.9.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Varmerør kan typisk henføres til isoleringsklasse 2, hvilket kræver almindelige såkaldte rørsåle (0,043 W/mK) med 30 mm isolering for rør med f.eks. en udvendig diameter på 34 mm (1 tommer rør) og rørsåle med 60 mm isolering for rør med f.eks. en diameter på 60 mm (2 tommer rør). Der tages udgangspunkt i, at eksisterende rør er uisolerede stålrør, og at den gennemsnitlige temperaturforskel mellem vandet i rørene og omgivelserne er 35 °C, samt at 30 % af varmetabet nyttiggøres, svarende til en uisoleret kælder med isoleret etagedæk.

Energibesparelser og anlægsudgifter for teknisk isolering af varmeinstallationer fremgår af Tabel 12.

Tabel 12. Energibesparelse og anlægsudgifter ved tiltag vedrørende varmeinstallationer.

Tiltag	ΔE_{tiltag} [kWh/m/år]	I_{tiltag} [kr./m]
30 mm efterisolering af 1'' varmerør	92	86
60 mm efterisolering af 2'' varmerør	164	169
	ΔE_{tiltag} [kWh/m ² /år]	I_{tiltag} [kr./m ²]
100 mm isolering af varmtvandsbeholder	506	872

Energibesparelser og anlægsudgifter for udskiftning af gamle cirkulationspumper til nye frekvensstyrede a-pumper fremgår af Tabel 13.

Tabel 13. Energibesparelser og anlægspriser for cirkulationspumper til centralvarme inkl. el-installationer.

	Effekt [W]	Energiforbrug [kWh]	ΔE_{tiltag} [kWh/stk/år]	I_{tiltag} [kr./stk]
Ældre pumpe, uden regulering	150	469		
Ny pumpe, uden regulering	75	234	235	4000
Ny pumpe, frekvensstyret	75	117	352	4200

2.10 Solafskærmning og køling

2.10.1 Energibesparelsesmuligheder

Facadens udformning er meget afgørende for energiforbruget og indeklimaet i bygninger. I bygninger med store glasarealer i facaden vil der være et betydeligt solindfald, som i sommerperioden ofte medfører et stort behov for ventilation og køling for at undgå overtemperaturer i bygningen. Energiforbruget til ventilation og køling kan således være ganske stort i perioder med meget solskin, hvis ikke solindfaldet gennem vinduerne begrænses vha. f.eks. solafskærmning.

Offentlige bygninger benyttes som regel af mange mennesker, og det er derfor meget vigtigt, at der er et godt indeklima, hvilket indebærer at der ikke bliver for varmt. Den interne varmebelastning fra mennesker og diverse elektrisk udstyr er ofte betydelig, og bygningerne er derfor følsomme overfor solvarmebidraget fra vinduerne. Der er derfor et stort energibesparelspotentiale ved at anvende effektiv variabel solafskærmning, idet overtemperaturproblemerne i dag typisk løses ved ventilation eller køling. Solindfaldet gennem vinduer og glasfacader kan dog med fordel også bidrage til rumopvarmningen om vinteren. Solafskærmninger bør derfor være variable, så de kan fjernes i kolde perioder, hvor der er brug for den gratis solvarme.

Solafskærmninger kan groft opdeles i:

- Solafskærmende ruder. Ruder med reflekterende belægning eller gennemfarvet glas.
- Traditionelle solafskærmninger, f.eks. persiener, rullegardiner, markiser etc.

Solafskærmende ruder

Solafskærmende ruder er ruder med reflekterende belægning eller gennemfarvet glas. Traditionelle solafskærmninger, f.eks. persiener, rullegardiner, markiser etc.

Solafskærmende ruder virker i sig selv som solafskærmning i kraft af særlig reflekterende belægning eller farvning af selve glasset, som begge reducerer solenergitransmittansen.

Fordele ved solafskærmende ruder er, at det er en relativt billig form for solafskærmning, da merprisen i forhold til en alm. energiruder er lav sammenlignet med prisen for selvstændige solafskærmninger, og de ændrer ikke på facadens udformning og udseende bortset fra, at de har en spejlende overflade eller er mørkere/farvet. Hertil kommer, at de ikke kræver yderligere vedligeholdelse end almindelige ruder.

Solafskærmende ruder kan have en god solafskærmende effekt, men der er dog nogle betydelige ulemper. Selvom det er lykkedes at forbedre belægningerne, så man får en optimeret spektralfordeling af transmittansen, således at det primært er den usynlige infrarøde del af solstrålerne der reduceres, kan det ikke undgås, at lystransmissionen samtidig reduceres. Dette er sjældent et problem om sommeren, hvor der er rigeligt dagslys, men i det mørkere vinterhalvår eller på gråvejrsdage kan det betyde, at dagslysniveauet i bygningen bliver så lavt, at der er brug for mere kunstig belysning med et øget energiforbrug til følge.

En anden ulempe ved solafskærmende ruder, som også skyldes, at de ikke er variable, er, at det gratis solindfald også reduceres i fyringssæsonen, hvor det ellers vil være til gavn som bidrag til rumopvarmningen. Afhængig af udnyttelsesgraden kan solindfaldet gennem vinduer spares direkte på varmeregningen. Disse ulemper gør, at solafskærmende ruder normalt ikke

er den energimæssigt bedste løsning. Derimod bør solafskærmning være variabel, så der kun afskærmes, når der er brug for det.

Traditionelle solafskærmninger

Traditionelle solafskærmninger, f.eks. persiener, rullegardiner, markiser og lameller varierer meget i både kvalitet og effektivitet. En stor fordel sammenlignet med solafskærmende ruder er, at de som regel er variable, således at de kan aktiveres, når der er brug for det ved for meget sol, og de kan fjernes, når der er brug for mest muligt dagslys. Solafskærmninger kan yderligere opdeles efter deres placering i forhold til vindueskonstruktionen, idet de kan placeres indvendigt, mellem glassene i ruden eller integreret udvendigt.

Den bedste solafskærmende effekt opnås ved udvendig placering af afskærmningen, idet solstrålingen afskærmes allerede inden den når ruden. Udvendig placerede solafskærmninger er således absolut bedst til at reducere varmetilskuddet fra solen og giver derfor de største energibesparelser til ventilation/køling. Til gengæld er udvendig solafskærmning ofte dyrest, da den skal være mere robust for at holde til belastningen fra udeklimaet, hvilket også kræver højere løbende omkostninger til vedligeholdelse, sammenlignet med indvendig eller integreret solafskærmning. Udvendig placering af solafskærmningen ændrer endvidere på bygningens udseende.

En positiv sideeffekt ved udvendig solafskærmning er, at den kan virke som ekstra natisolering, når det er koldt. Ved at lukke solafskærmningen om natten, når der ikke er brug for udsyn, kan varmetabet ud gennem facaden således reduceres. Den udvendige solafskærmning kan endvidere løse problemer med udvendig kondens på energiruder, idet kondensdannelsen vil ske på solafskærmningen. Når der er brug for udsyn åbnes afskærmningen eller den trækkes helt op afhængig af type.

Ved indvendigt placeret solafskærmning opnås kun en begrænset solafskærmende effekt, fordi solstrålerne først bremses efter de har passeret ruden og dermed er kommet ind i rummet. Når solstrålerne rammer den indvendige afskærmning, vil en stor del af energien absorberes og efterfølgende afgives som langbølget varmestråling, som ikke kan transmitteres ud af ruden igen. Kun en mindre del af solstrålerne reflekteres direkte ud i gennem ruden igen. Derfor er indvendig solafskærmning bedst egnet til at regulere sollyset med henblik på at undgå blænding og uønskede refleksioner. Fordelene ved indvendig solafskærmning er, at det ofte er den billigste løsning, som er nem at installere og kun kræver begrænset vedligeholdelse.

Solafskærmning integreret i ruden er normalt mere effektive end indvendig afskærmning med ringere end udvendig placering, da solstrålerne slipper gennem det yderste lag glas men bremses inden de når helt ind i rummet. Den integrerede solafskærmningsløsning er ofte dyr, afhængig af, om der er behov for at udskifte ruderne i bygningen, da den er en integreret del af ruden. Til gengæld er den godt beskyttet og kræver derfor næsten ingen vedligeholdelse.

2.10.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Energibesparelsen ved anvendelse af solafskærmninger generelt kan være svær at vurdere eksakt, da den afhænger af mange faktorer i de konkrete tilfælde. F.eks. er det afgørende om solafskærmningen kan reguleres, og om det foregår manuelt eller automatisk og i så fald efter hvilken styringsstrategi. Ligeledes har andelen af vinduer/glas i bygningens facader stor betydning for energibesparelspotentiallet eller om der overhovedet er behov for

solafskærmning. Endelig afhænger besparelsen af effektiviteten af det aktuelle ventilations- eller køleanlæg. For at bedømme energibesparelserne korrekt er derfor nødvendigt at gennemføre detaljerede bygningssimuleringer i konkrete sager.

Solafskærmninger karakteriseres normalt ved deres afskærmningsfaktor, F_c , som kan antage værdier mellem 0 og 1 og angiver hvor meget solstråling der transmitteres gennem en standardrude med solafskærmning i forhold til hvor meget der transmitteres gennem den samme rude uden afskærmning. Værdien 1 indikerer, at der ikke er nogen solafskærmning, mens f.eks. 0,4 betyder, at der transmitteres 40 % af solstrålingen gennem ruden med solafskærmning i forhold til ruden alene. I Tabel 14 er vist afskærmningsfaktorer for forskellige solafskærmningstyper.

Tabel 14. Afskærmningsfaktorer for forskellige solafskærmninger¹⁵.

Afskærmning	Afskærmningsfaktor
Ingen solafskærmning	1,00
Solafskærmning udvendig foran to lag glas	
Persienner, lyse lameller, 45°	0,22
Persienner, mørke, 45°	0,12
Netrullegardiner	0,20
Markise	0,25-0,50
Solafskærmning mellem to lag glas	
Gardiner, lyse og delvis gennemskinnelige	0,30
Gardiner, mørke og uigennemskinnelige	0,45
Persienner, lyse, 45°	0,35
Solafskærmning indvendig bag to lag glas	
Gardiner, lyse og delvis gennemskinnelige	0,50
Gardiner, mørke og uigennemskinnelige	0,80
Persienner, lyse, 45°	0,55
Persienner, mørke lameller	0,80
Solafskærmende ruder	
Absorberende glas yderst, almindeligt glas inderst	0,65-0,75
Reflekterende glas yderst, almindeligt glas inderst	0,18-0,40

Afskærmningsfaktorerne vist i Tabel 14 er kun standard gennemsnitsværdier for de forskellige solafskærmninger. For persienner og andre solafskærmninger med bevægelige lameller afhænger afskærmningsfaktoren af hældningen af lamellerne, deres bredde og indbyrdes afstand. Afskærmningsfaktoren varierer endvidere med bl.a. indfaldsvinklen for den direkte stråling og refleksionen fra jorden. Alle disse forhold gør det svært at angive en eksakt værdi, som gælder for alle tidspunkter. Ved mere detaljerede beregninger er der derfor brug for at kende afskærmningsfaktoren ved forskellige indfaldsvinkler.

For at vurdere besparelespotentialet for solafskærmninger er der foretaget beregninger af energiforbruget til køling i en typisk administrationsbygning¹⁶. Den anvendte bygning er eksempel-administrationsbygningen i SBI anvisning 213. Resultaterne er vist i Tabel 15

¹⁵ SBI-Anvisning 196 (2000): Indeklimahåndbogen

¹⁶ Beregningerne er foretaget i programmet Be06

Tabel 15. Energibehov til mekanisk køling i en administrationsbygning ved anvendelse af forskellige afskærmningsfaktorer svarende til forskellige solafskærmninger.

Afskærmningsfaktor	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Energibehov til køling, kWh/m ² vindue	0	21	32	44	57
Energibehov til køling, kWh/m ² etageareal	0	4	6	8	11

Det fremgår af Tabel 15, at bygningen har et kølebehov, hvis der ikke er solafskærmning. Kølebehovet reduceres i takt med, at der anvendes mere effektiv solafskærmning. For at undgå køling helt er det nødvendigt med solafskærmning med en afskærmningsfaktor på 0,2 på de syd-, øst- og vestvendte vinduer, hvilket svarer til effektiv udvendig afskærmning. Der gøres opmærksom på, at effekten af solafskærmningen afhænger meget af den aktuelle bygning. Jo større glasarealer på facader vendende mod syd, øst og vest jo større er kølebehovet og dermed effekten af solafskærmning.

På baggrund af en række simuleringer i BSim på en standard kontorbygning med forskellige solafskærmninger er der udviklet et udtryk til bestemmelse af det samlede energibehov til opvarmning og køling, E, for forskellige solafskærmninger [6]. Udtrykket er et anden ordens regressionsudtryk med seks koefficienter:

$$E = a_0 + a_1 g_{\max} + a_2 g_{\min} + a_3 g_{\max}^2 + a_4 g_{\min}^2 + a_5 g_{\max} g_{\min}$$

Hvor

E er det samlede energibehov i kWh pr. år til opvarmning og køling

$a_0 - a_5$ er koefficienter som knytter sig til selve bygningen

g_{\min} er den minimale totale solenergitransmittans for vindue plus solafskærmning

g_{\max} er den maksimale totale solenergitransmittans for vindue plus solafskærmning

For at bestemme energiforbruget E skal man kende den maksimale g-værdi og den minimale g-værdi for vinduet inklusiv solafskærmning.

I Tabel 16 er vist koefficienterne i regressionsudtrykket for referencebygningen, som er anvendt i [6]. Koefficienter til udtrykket gælder kun for denne specifikke bygning, men de vurderes dog at være anvendelige til generelt brug, da bygningen repræsenterer typiske kontorbygninger.

Tabel 16. Koefficienter i anden ordens regressionsudtrykket til beregning af energiforbruget til opvarmning og køling i en reference kontorbygning.

Koefficient	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Værdi	333.60	-202.74	70.22	77.49	112.10	28.28

I Tabel 17 er vist eksempler på beregnede energibehov til opvarmning og køling ved anvendelse af forskellige solafskærmninger. Beregningerne er foretaget med ovennævnte anden ordens regressionsudtryk.

Tabel 17. Eksempler på energibehov til opvarmning og køling, E, ved anvendelse af forskellige solafskærmninger.

Vindue med solafskærmning	g_{\max}	g_{\min}	Energibehov kWh/m ²
2-lags termorude uden belægninger	0,76	0,76	359
2-lags lavenergirude med blød belægning på inderste glas	0,63	0,63	337
2-lags solafskærmende rude (Suncool HP™)	0,44	0,44	318
2-lags solafskærmende rude (Cool lite™)	0,29	0,29	314
Indvendigt gardin+ 2-lags lavenergirude	0,69	0,52	307
Indvendig reflekterende film + 2-lags termorude	0,63	0,41	291
Integreret persienne i 2-lags solafskærmende rude	0,29	0,11	291
Integreret persienne i 2-lags lavenergirude	0,61	0,20	261
Udvendig persienne + solafskærmende 2-lags rude	0,35	0,05	276
Udvendig persienne + 2-lags lavenergirude	0,63	0,05	241

I Tabel 18 er vist eksempler på anlægsudgifter for forskellige solafskærmningssystemer.

Tabel 18. Priser på solafskærmningssystemer.

Solafskærmningssystem	Anlægsudgift Kr./ m ²
Solafskærmende ruder	2100
Aluminiumslameller, vandret, fast	1320
Udvendigt rullegardin, automatisk motorstyret	4271
Udvendig persienne, automatisk motorstyret	6021
Markise, automatisk motorstyret	6146

2.11 Belysning

2.11.1 Energibesparelsemuligheder

Energiforbruget til belysning udgør en betydelig del af det samlede energiforbrug i bygninger. I Danmark bruges ca. 32 % af elforbruget i den offentlige sektor på kunstig belysning [3] og i kontorbygninger udgør energiforbruget til belysning i visse tilfælde mere end 40 % af det samlede elektricitetsforbrug¹⁷. Det er især problematisk i relation til bygningsreglementets energikrav, hvor elforbrug indgår med en faktor 2,5 i forhold til varmekonsum i forbindelse med energirammeberegninger.

Selvom der de sidste 10 år er sket en betydelig udvikling af nye energieffektive lyskilder, belysningsarmaturer og reguleringssystemer, anvendes der stadig i stor udstrækning ”gammeldags” belysningssystemer med glødepærer og halogenlamper, selvom de ikke er særlig energieffektive. Der er derfor et stort energibesparelspotentiale ved at erstatte den eksisterende belysning med nye energieffektive belysningssystemer med automatisk regulering, som også sørger for optimal udnyttelse af dagslyset.

Glødelamper

Traditionelle glødelamper er stadig meget udbredte i offentlige bygninger, selvom de energimæssigt ikke er gode. Fordelene ved glødelamper er, at de er billige, og de giver et behageligt lys med en god farvekvalitet. Ulemperne ved glødepærer er, at de har en kort levetid på ca. 1000 timer og en relativ dårlig energieffektivitet på ca. 12 lumen/W [5]

Sparepærer

Sparepærer og lysstofrør har væsentlig højere energieffektivitet på mellem 56 og 80 lumen/W og har derfor et energiforbrug på kun ca. 1/5 i forhold til almindelige glødepærer. Derfor er der betydelige energibesparelspotentialer ved at skifte eksisterende glødepærer ud med sparepærer eller lysstofrør. Sparepærer koster typisk 5 gange mere end glødepærer, men til gengæld er levetiden ca. 10 gange så lang og med et energiforbrug på ca. 1/5 er sparepærer totaløkonomisk langt bedre end glødepærer. Ulempen ved sparepærer og lysstofrør er at de ofte giver et lys af en lidt ringere farvekvalitet, men med den seneste udvikling er sparepærens farvegengivelse stort set på højde med glødepærenes.

LED (Light Emitting Diode)

Der er for tiden særlig fokus på udvikling af lysdioder, LED (Light Emitting Diode) som spås at være fremtidens lyskilde. Lysdioder er mere energieffektive end glødepærer, og de har en meget lang levetid på ca. 50.000 timer, hvilket er 50 gange længere end standardglødepærer. Derudover har de pga. deres lille kompakte størrelse utroligt mange anvendelsesmuligheder. LED lyskilder er dog endnu ikke fuldt konkurrencedygtige, da de er relativt dyre og med en typisk energieffektivitet på ca. 38 lumen/watt kan de endnu ikke hamle op med lysstofrør og sparepærer. LED lyskilder er op til 100 gange dyrere pr 1000 lumen end tilsvarende andre lyskilder, men den meget lange levetid gør, at de er tæt på at være konkurrencedygtige, og det forventes da også, at den hastige udvikling inden for LED vil betyde, at de inden for få år både prismæssigt og energimæssigt kan konkurrere med traditionelle lyskilder.

¹⁷ BYG.DTU, 2007. LavEByg. Strategi for udvikling af integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger. Version 1 – 23-01-2007. Lyngby 2007. www.lavebyg.dk.

Dagslys

Dagslys har en optimal og jævn spektral sammensætning, hvilket betyder, at det gengiver farver helt neutralt, og det har derfor bedre farve- og lyskvalitet end nogen form for kunstig belysning. Diverse forskningsresultater viser også, at dagslys har en positiv indvirkning på menneskers velbefindende sammenlignet med kunstig belysning. Derfor bør man altid lukke mest muligt dagslys ind i bygninger. En god udnyttelse af dagslyset kan derudover give besparelser i behovet for kunstig belysning. I mange bygninger er den kunstige almenbelysning jævnt fordelt i hele rummet uden mulighed for regulering af belysningen i dele af rummet. Ved at gøre belysningen mere fleksibel vil man kunne slukke lyset tæt på vinduerne, hvor dagslyset udnyttes, mens der er tændt lys længere væk fra vinduerne. Herved kan der spares betydeligt på energiforbruget til kunstig belysning. Integrering af dagslysudnyttelsen i den samlede belysning vil give betydelige energibesparelser, særligt hvis det kombineres med effektiv regulering af den kunstige belysning efter dagslyset.

Vinduer

Udskiftning af ruder og vinduer til nye med større sollystransmittans kan give energibesparelser i form af reduktion af elforbruget til belysning. Dog har nye energiruder pga. lavemissionsbelægningen lavere lystransmittans end gamle termoruder. Derfor vil større lystransmittans normalt kun kunne opnås ved at øge glasarealet ved anvendelse af smallere ramme/karmprofiler. Montering af ovenlys vil normalt medføre betydeligt større dagslysfald som, hvis belysningssystemet reguleres fornuftigt, kan resultere i tilsvarende el-besparelser til belysning.

Styring og regulering

I de fleste offentlige bygninger er der ingen regulering eller styring af lyset andet end, at det kan tændes og slukkes manuelt. Det betyder, at brugernes adfærd har stor indflydelse på energiforbruget til belysning. Ifølge [3] vil der kunne opnås besparelser på 10 % ved at ændre på brugernes adfærd. Erfaringer viser dog, at det generelt er svært. Ved at indføre automatisk regulering af den kunstige belysning i offentlige bygninger vil der kunne opnås betydelige besparelser. Det kan ske ved hjælp af sensorer, som registrerer belysningsniveauet relevante steder i lokalet og på baggrund heraf justerer belysningen, så de ønskede belysningsniveauer opnås. På denne måde tages der hensyn til, at dagslyset varierer over døgnet og året, hvorved det udnyttes optimalt med energibesparelser til følge. Belysningen kan slukkes automatisk, når der ikke er personer i lokalet ved hjælp af bevægelses- eller varmefølsomme sensorer.

2.11.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

Energibesparelserne ved at udskifte eksisterende lyskilder afhænger først og fremmest af lyskildernes effektivitet målt i lumen pr W (lysmængde i forhold til effektforbrug). Effektiviteten varierer meget afhængig af type, hvor den traditionelle glødelampe har den laveste effektivitet på ca. 12 lm/W og den bedste er lysstofrør med effektivitet på ca. 85 lm/W. En negativ sideeffekt er, at når energiforbruget til belysning falder, reduceres varmeafgivelsen fra den kunstige belysning tilsvarende. Dette vil typisk reducere kølebehovet, mens energiforbruget til opvarmning af bygningen vil forøges en smule, men da varmeenergien i modsætning til el typisk er baseret på energi af lav kvalitet er betydningen lille, så der er god grund til at spare på den elektriske belysning.

For at illustrere besparelespotentialiet i energioptimering af den elektriske belysning, er der i programmet Be06 foretaget beregninger af elbehovet til belysning og det samlede energibehov for eksempel administrationsbygningen i SBI anvisning 213, idet der regnet på forskellige belysningssystemer:

- Reference: Ældre belysningssystem med manuel styring
- Alternativ 1: Nyt belysningssystem med manuel styring. Lysstofrør, virkningsgrad for armaturer på 93 %
- Alternativ 2: Nyt belysningssystem med automatisk styring. Lysstofrør, virkningsgrad for armaturer på 93 %

Resultaterne er vist i Tabel 19, hvor der endvidere er angivet anlægspriser for de valgte belysningssystemer samt de årlige udgifter til udskiftning af lyskilder. Baseret på Elsparefondens erfaringer fra projekter, hvor der er givet tilskud til belysningssystemer, kan der regnes med anlægsudgifter mellem 210 og 280 kr./m² for moderne energibesparende belysningssystemer (armaturer, komponenter til styringssystem mv.) til almenbelysning inklusiv installation efter reduktion af tilskud fra Elsparefonden på 40 kr./m². Baseret herpå er anlægsudgifterne i belysningssystemet i alternativ 1 med manuel styring sat til 245 kr/m², mens det med automatisk styring koster 280 kr/m². Der er antaget en brugstid på 2000 timer/år for systemer med manuel styring og en brugstid på 1800 timer for systemer med automatisk styring, svarende til en reduktion på 10 %. Der er ikke medtaget anlægsudgifter til arbejdsbelysningen.

Tabel 19. Energiforbrug og anlægsudgifter til belysning for typisk administrationsbygning ved anvendelse af forskellige lyskilder og styringsprincipper.

	Reference	Alt 1.	Alt 2.
Effekt min, almen belysning, W/m ²	2	2	0
Effekt max, almen belysning, max, W/m ²	15	3,1 ¹⁸	3,1
Effekt, arbejdsbelysning, W/m ²	4	1	1
Styring	Manuel	Manuel	Automatisk
Elbehov til belysning, kWh/m ²	30,6	7,3	5,9
Overtemperaturer, kWh/m ²	1,6	0	0
Samlet energiforbrug, kWh/m ²	144,2	93,0	90,3
Energisparelse, kWh/m ²	0	51	54
Anlægsudgifter, renovering, kr./m ²		245	280
Årlige udgifter til lyskilder, kr./ m ²	7,6	2,1	1,9

Det fremgår af Tabel 19, at belysningen har stor betydning for energiforbruget. Elbehovet til belysning reduceres som forventet, når der anvendes mere effektive lyskilder, men besparelsen slår ikke helt igennem med elbesparelsen x 2,5, hvilket primært skyldes et mindre varmetilskud fra belysningen (som kun delvist nyttiggøres), men også et alt andet lige mindre kølebehov.

¹⁸ Effekt for almenbelysning er baseret på belysningssystemet anvendt i et kasseformet model-kontor med dimensioner: længde 20 meter, bredde 10 meter og højde 2,7 meter. Der er vinduer i den ene langside. Se www.elsparefonden.dk. Der er regnet med at nettogulvarealet i bygningen udgør 85 % af bruttoarealet.

I Tabel 20 er vist typiske priser, effektivitet (lysmængde i forhold til effektforbrug) og levetider på forskellige typer lyskilder. For at tage højde for levetiden af de enkelte lyskilder samt deres effektivitet er der i de to nederste rækker angivet priser for de forskellige lyskilder beregnet i forhold til LED's levetid på 50.000 timer som er den længste.

Tabel 20. Typiske priser og effektivitet på forskellige lyskilder.

Lyskilde	Glødelampe	Lysstofrør	A-pære	LED
Effektforbrug, W	60	39	13	5
Effektivitet, lm/W	12	85	56	38
Lysmængde, lm	720	3315	728	190
Levetid, timer	1.000	15.000	8.000	50.000
Stykpris, kr.	12	43	30	150
Pris i forhold til lysafgivelse, kr./1000 lm	17	13	41	789
Pris + drift i alt over 50.000 timer, kr/1000 lm	833	43	258	789
Energiforbrug over 50.000 timer, kWh/1000 lm	4.167	588	893	1.316
Energibesparelse i forhold til glødepærer, kWh/1000 lm	-	3.578	3.274	2.851
Pris for energibesparelse, kr./kWh	-	0,012	0,079	0,277

Det fremgår af Tabel 20, at der er stor forskel på pris, levetid og effektiviteten for de forskellige lyskilder. Almindelige glødepærer er billigst pr stk. men er samtidig de mindst energieffektive og har kortest levetid. LED er dyrest pr stk. men til gengæld har de en meget lang levetid osv. I en LED-lampes levetid skal glødelampen således udskiftes 50 gange. Det betyder, at selvom LED er væsentligt dyrere i anskaffelsespris kan de økonomisk udkonkurrere glødelamper. Lysstofrør er dog både billigst og mest energibesparende og er derfor den bedste løsning især for almen belysning.

2.12 Solenergi

2.12.1 Energibesparelsesmuligheder

Solenergien kan udnyttes passivt via solindfald gennem vinduer eller glaspartier i ydervægge eller tagkonstruktioner. Solvægge i form af ydervægge udformet til forøget udnyttelse af solindfald (og nattekøling), eller ventilationsvinduer med ventilations- og varmegenvindingsmulighed er andre muligheder for passiv udnyttelse af solenergien. Aktiv udnyttelse af solenergi kan ske i form af solvarme via solfangere eller solel via solceller.

Et mindre varmetab ved isoleringsmæssige tiltag og eventuelt ventilation med varmegenvinding medfører, at en højere andel af varmebehovet kan dækkes via passiv solvarme. I superlavenergi huse med en hensigtsmæssig orientering kan 50 % eller mere af varmebehovet typisk dækkes via passiv solvarme.

Aktiv solvarme kan også udnyttes, men er ikke nogen forudsætning for at gennemføre renoveringer til lavenerginiveau. Aktiv solvarme er traditionelt solvarmeanlæg til supplerende opvarmning af varmt brugsvand, men kan også levere bidrag til rumopvarmningen. Det skal bemærkes, at solvarmeanlæg til større bygninger også skal "levere" varme til brugsvandscirkulationen, hvorfor det er vigtigt, at denne er velisoleret, så solvarme kan

udnyttes til varmebrugsvand og ikke blot til at dække varmetabet fra dårligt isolerede cirkulationsledninger. Solvarme kan også leveres til et fjernvarmesystem.

Solfangere anbringes typisk bedst på taget og med en orientering mellem SØ og SV og hældning mellem 15 og 70°, men lodret placering er også en mulighed. Der regnes typisk med et solfangerareal på 0,7-1 m² solfanger pr. person med små anlæg til kun opvarmning af varmt brugsvand, mens det tilsvarende areal ved anlæg også til rumopvarmning er 1,5-2 m². Ved større anlæg er arealet pr. person noget mindre.

Solcelleanlæg producerer el til el-nettet og består af solcellepaneler, som bedst anbringes på tagflader og med optimal orientering og hældning som angivet for solfangere. De mest almindelige solcelleanlæg er opbygget af silicium-plader, der enten kan være blå (krystallinsk type) eller sorte (amorf type). Krystallinske solceller kan også fås i andre farver end blå, men med lavere elproduktion og dyrere.

Solcellepaneler kan anvendes som alternativ facade-beklædning på sydvendte facader, hvorved bygningsejeren kan sende et signal om bæredygtighed. Solcellepaneler kan også integreres i vinduer/glasfacader og således medvirke til solafskærmning. Solceller er fortsat en relativt dyr teknologi.

2.12.2 Energibesparelser og anlægsudgifter

I Tabel 21 er angivet energibesparelser og anlægsudgifter for typiske tiltag baseret på udnyttelse af solenergi. De væsentligste forudsætninger er forklaret nedenfor.

Tabel 21. Energibesparelser og anlægsudgifter ved typiske tiltag til aktiv udnyttelse af solenergi

Tiltag	ΔE_{tiltag} [kWh/m ² /år]	I_{tiltag} [kr./m ²]
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand	300 - 550	3000 – 4000
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og rumopv.	300 - 550	+ 10 %
Solcelleanlæg	85	4000
Solvæg med ventilation	70 – 210	1500 – 3000

Energibesparelsen for solvarmeanlæg er pr. m² solfanger inkl. installation. Hertil kommer yderligere besparelser ved sparet tomgangstid fra kedel, hvis den slukkes om sommeren. Besparelsen bør ideelt set beregnes med et bygnings- eller solvarme-simuleringsprogram. Prisen pr. m² solfanger er ved areal på 250 – 50 m². Der kan eventuelt være tale om sparede alternative udgifter til varmtvandsbeholder, stillads mm, som typisk kan løbe op i ca. 500 kr/m². Merudgiften for et kombineret solvarmeanlæg vurderes at være 10 %.

Den typiske årlige ydelse af et solcelleanlæg på 1 kW (10m²) er 850 kWh/år, svarende 85 kWh/m². Prisen på solcelleanlæg er baseret på 40 kr pr. installeret W_{peak} og solceller med en modulvirkningsgrad på 10 %. Udgiften til driften udgør 160-240 kr/år for 10m², svarende til ca. 20 kr/m²/år.

Energibesparelsen for solvæg er for en på stedet opbygget væg, der kan være større, som f.eks. for produktet ”Solarwall” (luftsolfanger), hvor der kan forventes energibesparelser på 350 – 700 kWh/m² for bygninger med stort ventilationsbehov.

2.13 Bygningsdrift

Bygningsdrift eller drift og vedligeholdelse af tekniske bygningsinstallationer, herunder styring og regulering af anlæg til varme, ventilation og køling, kan ved optimering medføre betydelige energibesparelser. Bygningsdrift er en del af Facility Management (FM)¹⁹.

Erfaringsmæssigt er der mulighed for at reducere energiforbruget med i størrelsesordenen 10-15 % ved en forbedring af bygningsdriften. Tiltag vedrørende bygningsdrift er karakteriseret ved, at de typisk kun kræver ganske få eller ingen ekstra ressourcer at implementere. Og der er god grund til at få det bedste ud af de tekniske installationer, da de udgør ca. en tredje del af de samlede håndværksudgifter i typiske kontorbygninger, mens indretning og råhus udgør resten.

Der redegøres i det følgende for de typiske tiltag, som kan bidrage til at optimere bygningsenergidriften, f.eks. i forbindelse med en energirenovering.

Benchmarking på bygningsniveau

Indebærer, at der foretages en sammenligning af bygningens energiforbrug med andre lignende bygninger (såkaldt benchmarking). Formålet med benchmarkingen er at skærpe opmærksomheden om energiforbrug og på et overordnet plan at synliggøre unødigt forbrug. Dette kan for statens bygninger foretages via EIS-ordningen (<http://eis.teknologisk.dk>), en ordninger der siden 1993 har pålagt alle statens institutioner at indrapportere deres energiforbrug en gang årligt. Skoler kan sammenligne deres energiforbrug med andre skoler via benchmark-værktøjet Tjekskoleforbrug (<http://www.tjekskoleforbrug.dk/>).

Benchmarking på bygningsdelsniveau

Indebærer, at der foretages visuel kontrol af bygningsinstallationer mv. med henblik at fastlægge energiforbruget og om det er unødigt højt. Energiforbruget bestemmes ved vurdering, beregning eller måling og sammenlignes med typiske forbrug. Det vil i mange tilfælde være relevant at analysere den typiske døgnprofil for energiforbruget for at afklare eventuelle afvigelser fra et "normalt" forbrugsmønster.

Commissioning

Omfatter indregulering af særligt varme- og ventilationsanlæg, så deres ydeevne svarer til det projekterede og udførte (såkaldt Commissioning). Der er tale om en kvalitetskontrol og -dokumentation, som bør gentages hvert 3-5 år.

Uddannelse

Uddannelse af driftspersonale og brugere er nøglen til optimering af bygningsdriften. Formålet er at sikre korrekt eller hensigtsmæssig brug og vedligeholdelse af bygningen og dens installationer. Uddannelse af bygningens brugere kan f.eks. foretages via jævnlige e-mails med korte og klare instruktioner i, hvordan den enkelte bruger kan medvirke til at opnå energibesparelser, herunder oplysninger om hvordan den enkelte bruger af bygningen bedst muligt forholder sig til problemer med bygningens anlæg til opvarmning, ventilation og

¹⁹ FM omfatter også IT, postomdeling, kantine og lignende.

køling (herunder solafskærmning) mv., og hvornår og hvordan sådanne problemer skal og kan indrapporteres til driftspersonalet.

Uddannelsen skal være kontinuerlig og have et omfang, så der opbygges en energisparebevidsthed hos både driftspersonalet og bygningens brugere. Emner, der skal fokus på, er forbrug, styring og regulering vedrørende især kunstig belysning, solafskærmning, ventilation og udluftning, køling, apparatur, varmt brugsvand, rumopvarmning, og varmecentral/kedelrum.

Drifts-, vedligeholdelses og renoveringsplaner

Indebærer, at der arbejdes langsigtet med planlægning af drift, vedligehold og energirenovering af bygningen med henblik på at opnå og/eller fastholde et lavt niveau for energiforbruget. Disse planer bør kobles op på dels hele bygningen, klimaskærm, installationer og energiforsyning.

Planlægning af renovering handler om at implementere energitiltag, når der alligevel skal renoveres og at gøre det på en gennemgribende og helhedsorienteret måde, hvorved energirenoveringen kan udføres med en optimal totaløkonomi. Det er enten meget dyrt eller umuligt at ændre en ikke optimal bygningsdel på et senere tidspunkt.

Planlægning af drift og vedligeholdelse drejer sig blandt andet om med hvilket interval filtre bør skiftes, samt hvor ofte sensorer og styringselektronik skal efterses og serviceres. Indgåelse af udvidede servicekontrakter med specialistfirmaer på f.eks. ventilationsområdet er et tiltag, der kan sikre, at der foretages gennemmåling og rensning af kanaler med passende mellemrum. Kan suppleres med jævnlige test af luftkvaliteten i bygningen mv. for at påvise eventuelle behov for justering.

3 Energibesparende tiltag på en typisk offentlig bygning

Som eksempel på muligheder for energibesparelser i offentlige bygninger, er der foretaget analyser på en typisk bygning på Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Der har været fokuseret på potentialet ved at foretage en energimæssigt vidtgående renovering. Der er taget udgangspunkt i en eksisterende energimærkning af en DTU bygning²⁰. DTU's bygninger skal i henhold til bekendtgørelse om energimærkning af bygninger²¹ energimærkes hvert 5 år.

De fysiske rammer for Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby er en bygningsmasse med et bruttoetageareal på knapt 400.000 m², fordelt på ca. 100 bygninger (og 9000 lokaler), hvoraf ca. 40 bygninger er "50 og 100-meter-huse" i 3 etager (ekskl. kældere), med identisk klimaskærm og standard indretninger. Alle bygninger, bortset fra enkelte tilbygninger og nybygninger, er opført i 1960'erne og 70'erne. Hertil kommer bygningsarealer fra 5 fusionspartnere med et bruttoareal på ca. 139.000 m². Omtrentlige bruttoetagearealer fordelt på forskellige anvendelseskategorier fremgår af Tabel 22.

Tabel 22. Bruttoetagearealer for DTU's bygninger i Lyngby.

Fordelings- /fælles, kældre og teknik	Kontorer institutter, centre og administration	Auditorier og almindelig undervisning	Laboratorier, værksteder, haller	I alt
207.000	81.000	36.000	76.000	400.000

Det ses af tabellen, at halvdelen af arealet er fordelings- og fællesarealer samt kældre og teknikrum, mens DTU's administration, forskere og teknikere lægger beslag på den anden halvdel i forbindelse med udførelse af institutionens kerneaktiviteter.

Den energimærkede DTU-bygning (423) har fået et energimærke C1. Det er i den bedre halvdel, idet mærkeskalaen går fra A1 til G2, hvor G2 er det dårligste. Det er bemærkelsesværdigt, at der kun er identificeret ét rentabelt besparelsesforslag i energimærkningsrapporten (isolering af varmeinstallation) med meget begrænset effekt, samt to energibesparende forslag ved renovering, også med meget begrænset effekt.

Det konkluderes i energimærkningsrapporten, at bygningen ("50 meter-hus") er i rimelig god stand, og at der ikke er identificeret væsentlige energibesparelsesforslag. Dette skyldes delvist, at netop denne bygning er blevet renoveret i år 2000, hvor bl.a. den eksisterende built-up tagkonstruktion er blevet fjernet og erstattet af en højisoleret konstruktion af kileskåret isolering. Desuden er der delvist blevet etableret mekanisk ventilation med varmegenvinding, og der er foretaget en gennemgribende renovering af belysningsystemerne.

Den renoverede bygning 423 vurderes ikke at være repræsentativ for bygningerne på DTU, så derfor tilrettes beregningsmodellen, så den svarer til forholdene i bygning 118, som er mere typisk for DTU's bygninger. Bygning 118 er en del af Institut for Byggeri og Anlæg (BYG-DTU). Bygning 118 og 423 er geometrisk ens, undtagen med hensyn til længden, idet bygning 118 er dobbelt så lang (100 m) som bygning 423. Men til trods for dette anvendes

²⁰ Energimærkning af bygning 423 på DTU. Energimærkningsnummer 916460, udført 15-02-2007 af Birch & Krogboe A/S

²¹ Bekendtgørelse nr. 1731 af 21 december 2006: "Energimærkning af bygninger"

med god tilnærmelse de geometriske forhold, der er gældende for bygning 423. Det vil sige der foretages analyser på bygning 118, som om den kun var halvt så lang.

3.1 Bygning 118 på DTU

Klimaskærm, installationer og energiforsyning for den nuværende DTU bygning 118 er beskrevet i bilag 2. Overordnede data og vurdering af bygningen fremgår nedenfor.

Bygning	Bygning nr. 118 på Danmarks Tekniske Universitet
Anvendelse:	Ifølge BBR: 420 Undervisning
Adresse:	Anker Engelunds Vej 1 - Bygning 118 - 2800 Lyngby
Opvarmet etageareal:	6.721 m ² (inkl. kælder)
Bygningsvolumen	15.187 m ³
Antal etager:	3 + kælder
Bygningstype:	Længebygning med fladt tag, vinduesbånd brudt af lette facadepartier, murede brystninger og gavle.
Brugere	Institut for Byggeri og Anlæg (BYG•DTU)
Byggeår	1970
Varmeforsyning	Fjernvarme lokalt fra DTU's egen varmecentral. CTS anlæg sørger for sænkning af indetemperaturen til ca. 18°C på hverdage, og til 12°C i weekender og hen over jul og påske.
Vurdering	Bygningens klimaskærm er relativt dårligt isoleret. Den er udstyret med et kanalsystem for mekanisk ventilation, som dog ikke har været i funktion siden 1970'erne. Der er ingen funktionsdygtige friskluftventiler, hverken i vinduer eller ydervægge, dvs. der er ingen veldefineret frisklufttilførsel. Bygningen ventileres derfor naturligt via utætheder i klimaskærmen og åbning af vinduer og døre. Der er således dårlig regulering af luftmængder og i perioder dårlig luftkvalitet, betydelige trækgener og problemer med overtemperaturer i sommerperioden i specielt den sydvendte del af bygningen. Der er ingen aktiv køling. Bygningens vurderes samlet set at være i energi- og indeklimamæssigt dårlig stand.

3.2 Samlet energibehov før renovering

Det samlede årlige energibehov for bygningen er beregnet til 129,9 kWh pr. m² opvarmet etageareal. Dette energibehov er sammenligneligt med energirammen for nye bygninger. Energirammen eller det maksimale energibehov for en ny tilsvarende bygning er 95 kWh/m². Energiforbruget til bygningsdrift er altså 35 % større for den aktuelle bygning end minimumskravet til nye bygninger.

Det faktiske energiforbrug er typisk større end det beregnede energiforbrug, da beregnede forbrug er baseret på standardiserede forudsætninger, som er noget konservative i forhold til de typiske faktiske forhold. Der findes ikke målinger af varmemeforbruget i bygning 118, men der foreligger dog målinger på bygning 423, som viser et forbrug på 639 MWh (omregnet til normalår) i gennemsnit for perioden år 2000-2006, eller svarende til 183 kWh/m². Da det beregnede energiforbrug for bygning 118 og 423 er omtrent ens, vil det være rimeligt at antage at det reelle varmemeforbrug også vil ligge på omkring de 183 kWh/m² for bygning 118.

Det beregnede varmemeforbrug er 99,8 kWh/m² (se bilag 2), som derfor udgør ca. 55 % af det tilnærmede faktiske forbrug. Afvigelsen kan skyldes mange ting, men en højere indetemperatur, kuldebroer, en længere brugstid, en større ventilation og mindre nyttiggørelse

af varmetab fra varmerør og andre installationer end forudsat i beregningerne, er formentlig nogle af de væsentlige årsager. Man kan konkludere, at energibesparelser som følge af energibesparende tiltag, alt andet lige reelt vil være større end beregnet, hvilket også gælder de efterfølgende analyser, som derfor er på den sikre side, dvs. energisparepotentialet overvurderes ikke.

3.3 Forslag til energibesparende tiltag

Der antages udført en vidtgående energirenovering med tiltag, der går lidt videre i forhold til gældende krav til nye bygninger. Eksemplet er derfor at betragte som et forslag til energirenovering til lavenerginiveau.

Udgangspunktet for ”pakkeløsningen” er en mindselse af varmetabet fra klimaskærm og ventilation. Energiforsyningstiltag er derfor ikke en del af forslaget, hvilket heller ikke typisk er oplagt, da offentlige institutioner ligger indenfor områder med kollektiv varmforsyning.

Ydervægge inkl. kælderydervægge efterisoleres udvendigt med 20 cm isolering svarende til en U-værdi på 0,15 (lovkrav svarer til $U = 0,20$). Tagkonstruktionen isolering udvendigt med 25 cm kileskåret isolering, svarende til en U-værdi på 0,10. Terrændæk i kælder vil det være muligt at efterisolere indvendigt eller udvendigt, men for den aktuelle bygning (og det gælder DTU's bygninger generelt), vil det være for omfattende at foretage en efterisolering, da kælderen indeholder arkiv, forsøgsopstillinger og diverse installationer, som det vil være meget omkostningskrævende at flytte midlertidig under renoveringsarbejdet. Varmetabet fra terrændækket (til jord) er i øvrigt væsentligt mindre end tabet fra ydervæg og tag. En efterisolering af terrændækket vil dog være relevant i det tilfælde, at der alligevel skal foretages en større renovering af kælderen og udskiftning af varme-, ventilation- og proces installationer.

Energirenoveringen antages også at omfatte udskiftning af alle vinduer med nye lavenergivinduer i glasfiberarmeret polyester med small ramme-karm konstruktion og 3-lags energirude (lovkrav svarer til vindue med 2-lags energirude). Sådanne vinduer vil reducere varmetabet fra vinduerne med over 70 %, hvilket dog til dels modvirkes af et mindre solenergitilskud, som følge af ét ekstra lag glas og belægninger på ruderne.

Desuden forudsættes etablering af et mekanisk ventilationsanlæg med effektiv varmegenvinding og lavenergiventilatorer, idet det eksisterende kanalsystem enten genbruges, eller fjernes (mere realistisk), og erstattes af en nyt og optimeret system, der tilpasses de eksisterende føringsveje.

Udover de ”basale” tiltag er der behov for at reducere elforbruget til belysning, hvis lavenerginiveau skal opnås, hvilket især skyldes, at elforbrug indgår i energibehovet med en faktor 2,5 i forhold til varmeforbrug. Derfor antages det, at det eksisterende belysningssystem, udskiftes med et ”state-of-the-art” system med automatisk styring af belysningsniveauet.

Herudover forudsættes det, at cirkulationspumpen udskiftes til en ny effektiv sparepumpe, som er tilpasset det betydeligt mindre varmebehov og flowmængde.

De samlede tiltag er opsummeret i Tabel 23.

Tabel 23. Energimæssige egenskaber for energirenoveringstiltag på DTU bygning 118.

Energibesparende tiltag	Før	Efter
Efterisolering af ydervægge	$U = 0,55$	$U = 0,15$
Efterisolering af kælderydervægge	$U = 0,45$	$U = 0,15$
Efterisolering af tag	$U = 0,25$	$U = 0,10$
Nye vinduer	$U = 2,9$; $g_g = 0,75$	$U = 0,8$; $g_g = 0,50$
Ventilation med varmegenvinding	Naturlig ventilation	$\eta_T = 85\%$; $SEL = 1,5 \text{ kJ/m}^3$
Infiltration	Meget utæt	Meget tæt
Belysningssystem:	Ældre	”state-of-the art”
Almen belysning, min.	2 W/m^2	0 W/m^2
Almen belysning, maks.	10 W/m^2	$3,1 \text{ W/m}^2$
Styring	Manuel	Automatisk
Sparepumpe	Ældre – flertrinpumpe 300 W , $F_p = 0,8$	Sparepumpe – automatisk 60 W , $F_p = 0,4$

Det antages, at linietabet ved vindue reduceres til $0,03 \text{ W/mK}$, og at linietabet ved fundament halveres til $0,35 \text{ W/mK}$ som følge af de efterisoleringsmæssige tiltag.

3.4 Energibesparelser og anlægsudgifter

Det samlede årlige energibehov efter energirenoveringen er beregnet til $38,5 \text{ kWh}$ pr. m^2 opvarmet etageareal. Energibehovet før renoveringen var ca. 130 kWh , så energibehovet er altså reduceret med 70% . De beregnede energibehov før og efter renoveringen fremgår af Tabel 24.

Tabel 24. Beregnede bidrag til energibehovet i kWh/m^2 pr. år.

Bidrag til energibehovet	Før	Efter
Rumopvarmning (netto)	85,5	12,2
Varmt brugsvand (netto)	11,7	11,7
El til bygningsdrift (x 2,5)	30	12,8
Overtemperaturer i rum	0	0
Energibehov	129,9	38,5

Det ses, at det særligt er energibehovet til rumopvarmning, der er blevet reduceret, og til et niveau svarende til såkaldte passivhuse, som er den verdensførende lavenergistandard for bygninger. Men dette er ikke overraskende, da tiltagene meget ligner de tiltag, der kendetegner passivhus standarden. Det skal også bemærkes, at rumopvarmning, varmt brugsvand og el til bygningsdrift er omtrent lige stor efter renoveringen.

Økonomien i renoveringen kan gøres op i samlet udgift og udgift relateret til energitiltagene, hvilket fremgår af Tabel 25. Her ses, at renoveringen af en typisk 50-meter DTU bygning (bygning 423) koster ca. $7,6 \text{ mio. kr}$, hvoraf $2,9 \text{ mio. kr}$. kan henføres til energi- og indeklimatiltagene.

Metodikken vedrørende anlægsudgifter relateret til energitiltag og kategorisering af disse, er forklaret nærmere i kapitel 4.

Tabel 25. Anlægsudgifter ved energirenovering af DTU-bygning 423²² - bygningen har et opvarmet etageareal på 3488 m²

Energibesparende tiltag	Enhedspris	Mængde	Anlægs-udgift	Renov.-grad	Kategori	Anlægsudgift energitiltag
	Kr pr. m ² /stk	m ²	Kr.	%		Kr.
Efterisol. af ydervægge	2.240	1.075	2.408.000	75	2	602.000
Merpris, ekstra isol., 20 cm	120	1.075	129.000	0	5	129.000
Efterisol. af kældervægge	900	533	479.700	0	6	479.700
Efterisolering af tag	500	872	436.000	50	7	218.000
Nye vinduer	3.500	540	1.890.000	75	2	472.500
Merpris lavenergivinduer	500	540	270.000	0	5	270.000
Mekanisk vent. m. vgv	300	3.488	1.046.400	75	4	261.600
Nyt belysningssystem	280	3.488	976.640	50	7	488.320
Udskiftning af pumpe	3.000	1	3.000	100	3	0
I alt			7.638.740			2.921.120

Da bygning 118 er dobbelt så lang (100 m), kan renoveringsudgiften tilnærmelsesvis findes ved at multiplicere med en faktor der udtrykker forholdet mellem etagearealet af bygning 118 og arealet af bygning 423, svarende til $6721 / 3488 = 1,93$. Tilsvarende skal energibesparelsen pr. m² multipliceres med etagearealet for bygning 118 (6721 m²) og energiprisen (0,61 kr/kWh), hvorved der kan beregnes en årlig energibesparelse på 0,375 mio. kr. I Tabel 26 er vist en oversigt over økonomien i den skitserede energirenovering.

Tabel 26. Anlægsudgifter og tilbagebetalingstid²³ for en vidtgående energirenovering af DTU-bygning 118.

	Anlægsudgift [mio. kr]	Tilbagebetalingstid [år]
Samlet	14,7	39
Energitiltag	5,6	15

Det fremgår af Tabel 26, at hvis energibesparelserne alene skal betale for udgifterne til renoveringen, så er tilbagebetalingstiden 39 år. Men hvis der tages hensyn til, hvad der er renovering, og hvad der er energitiltag i form af de i Tabel 25 forudsatte renoveringsgrader, så er tilbagebetalingstiden kun 15 år.

Den relativt gode økonomi sammenholdt med de komfortmæssige forbedringer og en energimæssig fremtidssikring, indikerer, at det umiddelbart er attraktivt at energirenovere ældre offentlige bygninger.

²² Udgifter til projektering, diverse uforudsete udgifter og tilsyn er kun medtaget for udvendig efterisolering af ydervægge

²³ Der er forudsat en energipris på 0,61 kr/kWh – for nærmere beskrivelse af forudsætninger for denne, se kapitel 5.

4 Metoder til økonomiske vurderinger

Der redegøres for metoder til vurdering af økonomien i energibesparende tiltag og samlede energirenoveringer, herunder at energisparepris metoden er en logisk og rationel metode til identificering og prioritering af de billigste energibesparelsetiltag set over levetiden. Energispareprisen er baseret på totaløkonomiske betragtninger og kan umiddelbart sammenlignes med prisen for at levere energi. Der redegøres også for metode til samfundsøkonomiske beregninger, da sådanne beregninger er relevante, når der er fokus på energibesparelser i samfundets bygninger.

4.1 Privatøkonomiske vurderingsmetoder

4.1.1 Simpel tilbagebetalingstid

Simpel tilbagebetalingstid er den tid, der går før en investering i et energibesparende tiltag er "tjent hjem", og er således defineret som den samlede anlægsudgift divideret med den årlige nettobesparelse. Den årlige nettobesparelse beregnes som bruttobesparelsen fratrasket (ekstra) drifts- og vedligeholdelsesudgifter. Den årlige nettobesparelse kan med god tilnærmelse antages at være konstant over tiltagets levetid. Simpel tilbagebetalingstid er en velkendt metode, men den tager hverken hensyn til levetider og inflation mv.

Simpel tilbagebetalingstid skal altid ses i forhold til levetiden af tiltaget, men der er tendens til at vurdere simpel tilbagebetalingstid ens for tiltag, der har forskellige levetider. Metoden bør kun anvendes til tiltag med kort levetid, og kan således generelt ikke anbefales til vurdering af f.eks. isoleringsmæssige tiltag, der typisk har en levetid på 30-100 år.

4.1.2 Energisparepris

En mere korrekt og detaljeret metode til vurdering af rentabiliteten af energirenoveringstiltag, er den såkaldte energisparepris metode, som er baseret på totaløkonomiske nuværdi betragtninger, og derfor tager højde for levetid, restværdi og finansieringsudgifter.

Energispareprisen (ESP) eller på engelsk Cost of Conserved Energy (CCE) eller Cost of Saved Energy (CSE), er prisen for at spare en kWh (kr./kWh), som er et tal, der er nemt at forholde sig til, idet den direkte kan sammenlignes med prisen for den energi, der benyttes på det sted, hvor et givent energibesparende tiltag påtænkes implementeret. Er prisen for at spare energi mindre end prisen for at levere energi, er tiltaget rentabelt.

Det skal bemærkes at det ikke umiddelbart er gennemskueligt, hvordan energispareprisen fremkommer, som det er det med simpel tilbagebetalingstid, men dette bør ikke være et afgørende kriterium for valg af økonomisk vurderingsmetode.

4.1.3 Renoveringsgrad

Energispareprisen tager umiddelbart kun hensyn til forbedringen af den energimæssige ydeevne og udgifterne forbundet hermed. Men den kan korrigeres, så den tager hensyn til, at renoveringstiltag i mange tilfælde udføres af andre grunde end for at spare energi, nemlig at udslidte bygningsdele udskiftes med nye bygningsdele med længere levetid.

Dette kan gøres simpelt ved at introducere en renoveringsgrad κ , som lineært udtrykker forholdet mellem bygningsdelens alder og dens tekniske levetid i procent. Herved forstås den procentdel af anlægsudgifterne, som under alle omstændigheder skal afholdes, hvis bygningen

ønskes renoveret og bragt på niveau med nye bygninger. Hvis bygningsdelen er helt udslidt, og skal renoveres, er alderen således lig med levetiden og $\kappa = 100\%$. Hvis der er tale om energibesparende tiltag alene med henblik på at spare energi, er renoveringsfaktoren typisk 0.

I forbindelse med et igangværende forskningsprojekt²⁴, er der udviklet en foreløbig metode til kategorisering og håndtering af forskellige energibesparende tiltag i relation til renoveringsgrad og økonomiske beregninger.

Tabel 27. Forslag til kategorisering af tiltag og renoveringsgrader.

Kategorisering af tiltag	1. Rentable tiltag på forsyningssiden (rentable på den renoverede bygning) 2. Forfaldne bygningsdele, der skal renoveres (renoveres energimæssigt til lovkrav) 3. Forfaldne installationer, der skal renoveres (renoveres energimæssigt til lovkrav) 4. Nødvendig renovering af bygning og installationer for at forbedre indeklima, som ikke er inkluderet under 2 5. Forbedring af de under 2 nævnte tiltag (merisolering, bedre vinduer etc.) 6. Energibesparende tiltag på bygning alene med henblik på energibesparelsen 7. Andre energibesparende tiltag	
Renoveringsgrad	1. Rentable tiltag på forsyningssiden (rentable på den renoverede bygning)	Renoveringsgrad ofte nul. Kan være større end nul hvis eksisterende anlæg er nedslidt.
	2. Forfaldne bygningsdele der skal renoveres (renoveres energimæssigt til lovkrav)	Renoveringsgrad tæt på 100 %. Forudsættes at renovering omfatter mere end 25% af klimaskærm.
	3. Forfaldne installationsdele der skal renoveres (renoveres energimæssigt til lovkrav)	Renoveringsgrad tæt på 100%.
	4. Nødvendig renovering af bygning og installationer for at forbedre indeklima, som ikke er inkluderet under 2	Renoveringsgrad mellem 50 og 100%. Lav hvis den opnåede forbedring er bedre end lovkrav.
	5. Forbedring af de under 2 nævnte tiltag (merisolering, bedre vinduer etc.)	Her er renoveringsgraden typisk 0 %. Disse ting gennemføres alene for energibesparelsen.
	6. Energibesparende tiltag på bygning alene med henblik på energibesparelsen	Her er renoveringsgraden typisk 0 %. Disse ting gennemføres alene for energibesparelsen.
	7. Andre energibesparende tiltag	Her afhænger renoveringsgraden af om der samtidig udskiftes dele som alligevel stod for udskiftning.

Foruden anlægsudgifter, er der ved gennemgribende renoveringer udgifter til projektering, diverse uforudsete udgifter, tilsyn mv., som typisk beregnes som en fast procentdel til alle omkostninger, typisk 50 %.

²⁴ Energirigtig renovering af større bygninger – udvikling og demonstration med hovedvægt på energiforsyning og installationer. EFP-2007. COWI projektleder.

Hvilken faktor man vil bruge er en bygherrebeslutning, og den kan være vanskelig at bestemme, f.eks. i tilfælde hvor der er stor forskel på levetiden af bygningsdelens enkelte dele, f.eks. et ventilationsanlæg, hvor kanalsystemet måske har en levetid på 50-100 år, mens aggregatet typisk skal skiftes efter ca. 20 år.

Renoveringsfaktoren er umiddelbart mest relevant i forhold til at sammenligne energirenovering af forskellige bygningsdele. For sammenligning af forskellige muligheder for den samme bygningsdel er renoveringsfaktoren mindre relevant. Dette gælder f.eks. i det tilfælde hvor man ønsker at vurdere økonomien i at gøre det bedre i form af mere isolering mv.

4.1.4 Metode tekniske aspekter

Nedenfor er der knyttet nogle kommentarer til de vigtigste metodetekniske aspekter i form af økonomisk tidshorisont, kalkulationsrente, afskrivning og sideeffekter.

Økonomisk levetid

I forbindelse med den totaløkonomiske beregning af energispareprisen er det valgt at betragte en 30 årig beregningsperiode, da denne tidshorisont svarer til den normale låneperiode ved byggeinvesteringer. Den beregningsmæssige usikkerhed vil stige betydeligt ved længere perioder og energiudgifterne langt ude i fremtiden har kun ringe betydning for nuværdien,

Real kalkulationsrenten

Der regnes med en real kalkulationsrente (nominel rente korrigeret for generel inflation) på 2,5 % baseret på en effektiv rente på 5 % og en generel inflation på 2,5 % (2-3 %). Dette svarer omtrent til det niveau realrenten har ligget på siden 1990.

Energistyrelsen m.fl. taler for, at der ved vurdering af tiltag med meget lang tidshorisont bør benyttes en diskonteringsrate som aftager mod nul over tid. Dette skal ses i lyset af, at nuværdien af selv en nok så stor energibesparelse bliver omkring lig med nul ved en positiv diskonteringsrate, hvis fordelene falder tilstrækkeligt langt ude i fremtiden, hvorved hensynet til fremtidige generationer forbigås. En nul-rente svarer i øvrigt også til, at energipriserne stiger lige så meget som realrenten – jf. næste afsnit.

Afskrivning af investering

Normalt regnes der med en lineær nedskrivning af investeringens værdi. Denne afskrivning er dog umiddelbart mindre egnet på bygninger eller på ekstra investeringer, der kun har indflydelse på bygningens varmebehov, fordi blandt andet bygningens pris ikke synes at falde de første mange år af dens levetid, men snarere at stige. I rapporten "Realisering af lavenergihuse"²⁵ er problemstillingen behandlet, og det konkluderes på baggrund af udsagn fra forskellige aktører, der har interesse i bygningens værdi, at værdien af investeringer i energibesparelser varierer meget, fra "næsten uden betydning" til "ingen afskrivning". Det konkluderes også, at værdien afhænger meget af markedssituationen ved salg. En mellemvej for investeringernes fremtidige værdi synes på denne baggrund at være den lineære afskrivning.

²⁵ Realisering af lavenergihuse. Eksamenprojekt ved DTU. 2000.

Sideeffekter

Energibesparende bygningstiltag, vil i mange tilfælde medvirke til en væsentlig forbedring af indeklimaet i form af mindre træk, nedsat kondensrisiko på indvendige flader og dermed mindre risiko for råd og svamp. En kapitalisering af denne fordel er imidlertid meget vanskelig. Forskning på området ved Indeklimacenteret på DTU viser, at betydningen af et godt indeklima frem for et middelmådigt indeklima generelt er meget markant.

4.1.5 Energisparepris for tiltag med levetid længere end økonomisk tidshorisont

Energispareprisen (ESP) for energirenoveringstiltag med $n_t > n$ beregnes ud fra følgende formel:

$$ESP = \frac{(1 - \kappa) \cdot I_0 \cdot \left[1 - \frac{n_t - n}{n_t} \cdot (1 + (r - e))^{-n} \right] + f_{nv} \cdot VO_{\text{årlig}}}{f_{nv} \cdot \Delta E_{\text{årlig}} - f_{nv} \cdot 2,5 \cdot E_{\text{drift, el, årlig}}}$$

Hvor:

ESP	Energisparepris	Kr./kWh	
κ	Renoveringsgrad	-	$\kappa=1$: 100 % renoveringsmoden $\kappa=0$: 0 %, renovering alene for energibesparelsen
n	Økonomisk levetid	År	Typisk 30 år
n_t	Teknisk levetid	År	
$I_{\text{tiltag}} = I_0$	Investeringsbeløb i år 0	Kr.	Investeringsbeløb til ét tiltag
f_{nv}	Nuværdifaktor for vedligeholdelsesudgifter	-	Se formel nedenfor
f_{nv}	Nuværdifaktor for varmebesparelser	-	Se formel nedenfor
f_{nv}	Nuværdifaktor for driftsudgifter til el	-	Se formel nedenfor
$VO_{\text{årlig}}$	Årlige vedligeholdelsesudgifter	Kr./år	
$\Delta E_{\text{årlig}}$	Årlig energibesparelse	kWh/år	
$\Delta E_{\text{drift, el, årlig}}$	Årligt elforbrug til drift	kWh/år	2,5 er primærenergifaktor

Nuværdifaktoren f_{nv} , eller kapitalindvendingsfaktoren, er afhængig af realrenten og levetiden. Den er lig med den økonomiske levetid, hvis renten er nul. Hvis energi- og vedligeholdelses- eller driftsudgifterne udvikler sig anderledes end den generelle inflation, kan der korrigeres for dette.

Formlen for nuværdifaktoren er:

$$f_{nv} = \frac{[1 - (1 + (r - e))^{-n}]}{(r - e)}$$

Hvor:

f_{nv}	Nuværdifaktor	-	For $(r - e) \rightarrow 0$ fås $f_{nv} = n$
r	Realrente	Pct./år	Nominel rente korrigeret for generel inflation (og eventuelt skattefradrag for private)
e	Realudviklingen i driftsudgifter/-besparelser	Pct./år	Prisstigningstakt der ligger udover den generelle inflation

n Økonomisk levetid År

Der er regnet med en nuværdi af restværdien af investeringen efter udløbet af den betragtede periode n, som er baseret på en antagelse om lineær afskrivning af investeringen.

4.1.6 Energisparepris for tiltag med levetid kortere end økonomisk tidshorizont

Hvis den tekniske (fysiske) levetid er kortere end den økonomiske levetid, kan der regnes med gentagne investeringer, således at I_0 erstattes af I_g , som er nuværdien af gentagne investeringsbeløb:

$$I_g = I_0 \cdot \frac{1 - (1 + (r - e))^{-n}}{1 - (1 + (r - e))^{-n_t}} = I_0 \cdot \frac{f_{nv}(n)}{f_{nv}(n_t)}$$

ESP-formlen for $n_t < n$ bliver således (for $e \neq r$):

$$ESP = \frac{(1 - \kappa) \cdot I_0 \cdot \frac{f_{nv}(n)}{f_{nv}(n_t)} + f_{nv} \cdot VO_{\text{årlig}}}{f_{nv} \cdot \Delta E_{\text{årlig}} - f_{nv} \cdot 2,5 \cdot E_{\text{drift, el, årlig}}}$$

Det skal bemærkes at renoveringsgraden κ i decimaltal skal vurderes i forhold til omfanget af gentagne investeringer, da renoveringsgraden kun gælder den første investering.

4.1.7 Eksempel: Energisparepris for udvendig efterisolering af ydervæg

Energispareprisen for efterisolering af en ydervægfacade beregnes for to tilfælde:

- En analyse af økonomien i at renovere til lovkrav ($U = 0,20$) i forbindelse med en større renovering (25 % reglen er opfyldt).
- En analyse af økonomien i at isolere bedre end bygningsreglementets krav ved større renoveringer

1) Analyse af rentabiliteten i efterisolering af ydervægfacade med et dårligt isoleret betonelement med en U-værdi på $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Parameter	Værdi	Bemærkninger
$\kappa = n_a / n_t$	0,75	Der forudsættes en renoveringsgrad på 75 %
n	30	
n_t	40	Jf. Bygningsreglementets - efterisolering af beskyttede bygningsdele
I_{tiltag}	2240	Inkl. håndværksudgifter, stillads- og byggepladsudgifter og rådgiverhonorar
$\Delta E_{\text{årlig}}$	72	$= (1,00 - 0,20) \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 90 \text{ kWh/år}$
r	2,5	
e	1,5	Realprisstigningen for energi antages at være 1,5 % pr. år.
f_{nv}	25,8	

$$ESP = \frac{(1 - 0,75) \cdot 2240 \cdot \left[1 - \frac{40 - 30}{40} \cdot (1 + 0,025)^{-30} \right] + 0}{25,8 \cdot 72 - 0} = 0,14 \text{ kr / kWh}$$

Med de givne forudsætninger, ses det, at udvendig efterisolering til et niveau svarende til bygningsreglementets krav til større renoveringer er rentabelt, idet energispareprisen er mindre end energiprisen.

2) Analyse af rentabiliteten i at isolere bedre end BR krav ($U = 0,20$), svarende til en U-værdi på 0,10.

Parameter	Værdi	Bemærkninger
$\kappa = n_a / n_t$	-	0 % - tiltag gennemføres alene for energibesparelsen
N	30	
n_t	40	Jf. Bygningsreglementets - efterisolering af beskyttende bygningsdele
I_{tiltag}	200	Merpris – overvejende i form af isoleringsmateriale
$\Delta E_{\text{årlig}}$	9	$= (0,20 - 0,10) \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 90 \text{ kWh/år}$
$\Delta E_{\text{drift, el, årlig}}$	0	
R	2,5	
E	1,5	Realprisstigningen for energi antages at være 1,5 % pr. år.
f_{nvb}	25,8	

$$ESP = \frac{(1-0) \cdot 200 \cdot \left[1 - \frac{40-30}{40} \cdot (1+0,025)^{-30} \right] + 0}{25,8 \cdot 9 - 0} = 0,41 \text{ kr} / \text{kWh}$$

Det ses, at energispareprisen også for dette mere vidtgående tiltag er mindre end energiprisen. Eksemplet viser altså, at det umiddelbart er økonomisk fornuftigt at isolere bedre end til bygningsreglementet krav.

4.1.8 Eksempel: Energisparepris for mekanisk ventilation med varmegenvinding

Energispareprisen beregnes for at etablere mekanisk ventilation med varmegenvinding i en typisk administrationsbygning, der hidtil har været naturligt ventileret via utætheder i klimaskærmen og ved åbning af vinduer og døre. Tiltaget forudsættes etableret i forbindelse med en større renovering, hvor man ønsker at benytte chancen til at forbedre indeklimaet, som hidtil har været dårligt og præget af vekslende luftskifte og trækgener.

Parameter	Værdi	Bemærkninger
$\kappa = n_a / n_t$	-	50 %
N	30	
n_t	20/40	Aggregat/kanalsystem. Andel af investering: 20/80 %
I_{tiltag}	200	Pr. m ² etageareal.
$VO_{\text{årlig}}$	3	Pr. m ² etageareal. Årligt serviceeftersyn og rensning hvert 5 år
$\Delta E_{\text{årlig}}$	27	Pr. m ² etageareal. 80 % varmegenvinding.
$\Delta E_{\text{drift, el, årlig}}$	4	Pr. m ² etageareal. SEL = 1,5 KJ/m ³
R	2,5	
E	1,5	Realprisstigningen for energi antages at være 1,5 % pr. år.
$f_{nv}(n)$	0,523	
$f_{nv}(n_t)$	0,390	
f_{nvv}	20,9	
$f_{nvb} = f_{nvd}$	25,8	

$$ESP = \frac{(1 - 0,5) \cdot 200 \cdot \left[\frac{20,9}{15,6} \cdot 0,2 + \left(1 - \frac{40 - 30}{40}\right) \cdot 1,025^{-30} \cdot 0,8 \right] + 20,9 \cdot 3}{25,8 \cdot (27 - 2,5 \cdot 4)} = 0,29 \text{ kr} / \text{kWh}$$

Mekanisk ventilation med varmegenvinding er umiddelbart et rentabelt tiltag, hvis det realiseres i forbindelse med en større nødvendig renovering, idet energispareprisen er mindre end energiprisen. I tillæg til en god energiøkonomi, opnås der en betydelig forbedring af indeklimaet i form af et kontrolleret luftskifte uden trækgener.

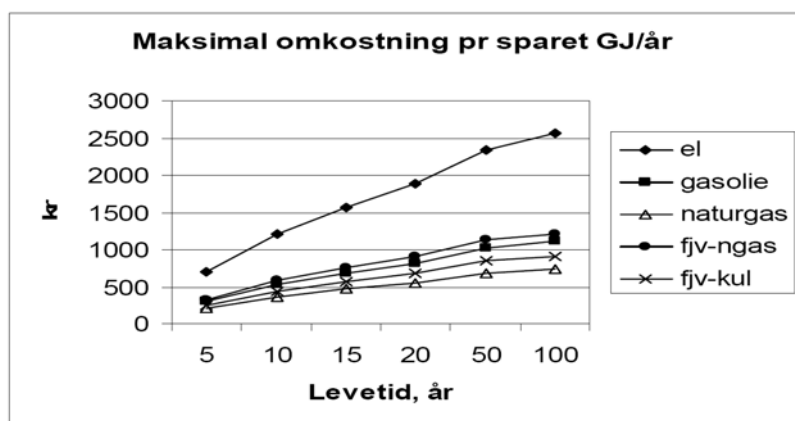
4.2 Samfundsøkonomiske vurderingsmetoder

Der beskrives kort en metode til vurdering af samfundsøkonomisk rentabilitet af energibesparelser set i forhold til privatøkonomisk tilbagebetalingstid [7].

Metoden tager udgangspunkt i Energistyrelsens ”Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet”, og at man kan beregne størrelsen af de udgifter, der netop svarer til værdien af de samfundsøkonomiske brændselsbesparelser, beregnet for forskellige brændsler og energiarter, og for forskellige levetider.

Disse samfundsmæssige, maksimale investeringer kan herefter sammenlignes med beregnede udgifter for energibesparende tiltag, og hvis udgifterne er mindre, end hvad de maksimalt må være, er tiltaget samfundsøkonomisk rentabelt.

Forudsætninger for beregningerne er en 20-årig beregningsperiode og en kalkulationsrente på 6 %, og indregning af reinvesteringer og restværdi under forudsætning af lineær afskrivning over levetiden. I Figur 1 er vist resultaterne af beregningerne i 2004 priser.



Figur 1. Maksimal udgift pr. sparet GJ/år, som er samfundsøkonomisk rentabel (kilde: Energistyrelsen) - GJ konverteres til kWh ved at dividere med 278.

Det fremgår af figuren, at en varmebesparelse med en levetid på 40 år for en bygning, der forsynes med naturgas baseret fjernvarme (fjv-ngas), vil være samfundsøkonomisk attraktiv, såfremt den kan gennemføres for en udgift under ca. 1000 kr pr. sparet GJ/år, svarende til ca. 3,6 kr pr. kWh/år.

Man kan ud fra disse udgifter pr. kWh og forudsætninger om markedspriser på energi beregne, hvilke simple privatøkonomiske tilbagebetalingstider der giver samfundsøkonomisk balance. I den refererede rapport fra 2004 angives for husholdninger mv. tilbagebetalingstider på 4-8 år for opvarmningsrelaterede besparelser og 1,5-3 år for el-besparelser.

5 Økonomiske beregninger

I dette kapitel redegøres for resultaterne af de privat- og samfundsøkonomiske beregninger af rentabiliteten af typiske energibesparende tiltag, som er baseret på de beregnede energibesparelser og anlægsudgifter, der er opgjort i de foregående afsnit, samt de omtalte metoder til økonomiske vurderinger.

5.1 Privatøkonomiske beregninger

Formålet med de privatøkonomiske beregninger er følgende:

- At vise hvilke tiltag, som har en simpel tilbagebetalingstid, der er mindre end 5 år ($TBT < 5$ år), og som samtidig har en tilstrækkelig høj rentabilitetsfaktor ($>1,33$) – se formel nedenfor - hvilket er en forudsætning for, at tiltag kan kræves gennemført i henhold til cirkulære for energieffektiviseringer i statens institutioner.
- At vise hvilke tiltag, der har en tilbagebetalingstid, der er større end 5 år ($TBT > 5$ år), og som er totaløkonomisk rentable (energispæpris $ESP <$ energipris).
- At vise hvilket tiltag der er totaløkonomisk rentable i forbindelse med en typisk renoveringssituation.

Rentabilitetsfaktoren/-kriteriet (RF), som angivet i bygningsreglementet og gældende ved vurdering af energibesparende renoveringstiltag, er følgende:

$$RF = \frac{\text{Årlig energibesparelse [kr pr enhed pr år]} \times \text{Levetid [år]}}{\text{Anlægsudgift [kr pr enhed]}} > 1,33 = \text{rentabelt tiltag}$$

Dette svarer til, at den simple tilbagebetalingstid skal være mindre eller lig med levetiden divideret med 1,33.

Til anlægsudgiften medregnes kun ekstraudgifterne til de energimæssige forbedringer, svarende til de udgifter som renoveringsprojektet øges med på grund af de energimæssige forbedringer til overholdelse af bygningsreglementets krav.

Hvis der er tale om en større renovering af f.eks. taget på en bygning (25 % reglen er opfyldt), så skal ydervæggen også opgraderes energimæssigt i det omfang det er rentabelt. I det tilfælde er ekstraudgifterne til f.eks. en udvendig efterisolering hele udgiften til montering af isolering og regnskærm. Hvis et renoveringsprojekt f.eks. ”kun” omfatter udskiftning af regnskærmen på en række lette ydervæggsfacader (25 % reglen er ikke opfyldt), skal isoleringen opgraderes og anlægsudgiften er kun prisen for den merisolering, dvs. uden indregning af udgiften til regnskærmen som var en del af det oprindelige projekt.

Når der i det følgende regnes med en renoveringsgrad, så benyttes den til at tage hensyn til bygningsdelens alder i forhold til levetiden. I forbindelse med opgørelse af de rentable tiltag, som har en tilbagebetalingstid på under 5 år, medregnes hele anlægsudgiften. Dette er også rimeligt nok ved udvendig efterisolering af typiske tunge ydervægge, da tiltaget ofte kommer på tale i forbindelse med andre planlagte renoveringsarbejder, og således skal indregnes med den fulde værdi, jævnfør ovenfor.

Det skal bemærkes at der i bygningsreglementet ikke stilles krav om at undersøge rentabiliteten i en energimæssig opgradering ved udskiftning af indvendig beklædning af ydervægge, udlægning af nyt tagpap på eksisterende tagpap, hulmursisolering samt malerbehandling og pudsning af facader.

5.1.1 Forudsætninger

Der undersøges 3 scenarier for realprisstigninger på energi (i faste priser):

1. Prisstigninger svarende til den generelle inflation, dvs. 0 % pr. år
2. Prisstigninger på 1,5 % pr. år, svarende til EU's standard scenarie ved vurdering af energibesparelser
3. Prisstigninger på 2,34 % pr. år.

Realprisstigninger på energi er realistiske som følge af knapheden på fossile brændsler, indfasningen af dyrere vedvarende energikilder og eventuelle højere grønne afgifter. Realprisstigningen i scenarie 3 på 2,34 % pr. år, svarer til en fordobling af energiprisen over 30 år, som er den økonomiske tidshorisont for de totaløkonomiske beregninger. En fordobling af energiprisen er et realistisk bud på en langsigtet energipris i et samfund med et optimeret lavt energiforbrug og energiforsyning med vedvarende energi²⁶.

Der er regnet med en energipris svarende til den gennemsnitlige marginalpris (eller såkaldte aconto pris) for fjernvarme, som er 0,61 kr/kWh inkl. afgifter²⁷ (ekskl. moms). Prisen for naturgas er ca. 25 % højere, mens den er ca. 50 % højere for olie, men da de fleste offentlige bygninger ligger i byerne og derfor ofte er forsynet med fjernvarme, er beregningerne foretaget med prisen for fjernvarme, og den er derved ”på den sikre side” med hensyn til ikke at overvurdere økonomien i de energibesparende tiltag.

Levetiden er en vigtig beregningsparameter. Der er generelt regnet med levetider svarende til maksimale beregningsmæssige levetider fastsat af Energistyrelsen og anført i bygningsreglementet og til brug for vurderinger af økonomien i energibesparende tiltag i forbindelse med energimærkning af bygninger. De af Energistyrelsen fastsatte levetider er følgende:

- 40 år for efterisolering af beskyttende bygningsdele, fx hulmursisolering.
- 20 år for øvrige efterisoleringsarbejder for tilgængelige bygningsdele, for nye vinduer, forsatsrammer og ruder samt nye opvarmningssystemer.
- 10 år for renovering af kedelanlæg.
- 10 år for belysningsarmaturer.
- 10 år for automatik til natsænkning.
- 5 år for fugetætningsarbejder

Der er tale om noget konservative levetider, når man sammenligner med angivelser i diverse prisbøger og de realiserede levetider i bygningsmassen. Levetider er således også ”på den sikre side”, som det var tilfældet med energiprisen.

²⁶ Hvilket er regeringens langsigtede mål: ”Danmark skal være 100 % uafhængig af fossile brændsler”, fremgår af regeringsgrundlaget ”Mulighedernes samfund” af 22. november 2007, afsnit 16: ”En visionær klima- og energipolitik”.

²⁷ Jf. notat fra Dansk Fjerne ”Fjernvarmepriserne i Danmark 2007” og rapporten ”Benchmarking statistik 2006/2007”

5.1.2 Resultater

I Tabel 28 er vist de overordnede resultater af de privatøkonomiske beregninger. Se bilag 2 for detaljer. Tabellen indeholder en oversigt over de forskellige energibesparende tiltag og hvilke tiltag, der er rentable i henhold til ”Cirkulære om energieffektivisering af statens institutioner”, samt hvilke af de tiltag, der ikke opfylder cirkulærets krav, som er totaløkonomisk rentable ud fra en nuværdi betragtning over 30 år. Samtidigt er der vist de rentable tiltag, når der tages hensyn til bygningens fysiske tilstand.

Tabel 28. Resultater af de privatøkonomiske beregninger af rentable tiltag.

Energibesparende tiltag	”Cirkulære tiltag” ¹	Rentable tiltag ²			Rentable tiltag ³		
		κ = 0 %			κ = 75 %		
Realprisstigning, % pr. år.	-	0 %	1,5 %	2,3 %	0 %	1,5 %	2,3 %
Ydervægge							
Udv. efterisolering, uisoleret				✓	✓	✓	✓
Udv. efterisolering, dårligt isoleret					✓	✓	✓
Udv. efterisolering, let isoleret							
Bedre isolering end lovkraft							
Tag- og loftkonstruktioner							
Efterisolering af etageadskillelse	✓				✓	✓	✓
Efterisolering af uisoleret skunk	✓				✓	✓	✓
Efterisolering af let isoleret skunk			✓	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af let isoleret gitterspær		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Udv. efterisolering af let isoleret fladt tag		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Underbygning							
Efterisolering af uisoleret strøgulv		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af let isoleret strøgulv			✓	✓	✓	✓	✓
Efterisol. af uisoleret terrændæk med VIP							
Efterisol. af uisoleret dæk mod kælder		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efterisol. af uisoleret krybekælderdek	✓				✓	✓	✓
Klimaskærmens lufttæthed							
Passivhus standard		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vinduer							
Ny Energirude					✓	✓	✓
Nyt vindue (dannebrog), 2-lag Energirude					✓	✓	✓
Istandsættelse + forsats Energiglas					✓	✓	✓
Nyt vindue (træ), 2-lag Energirude					✓	✓	✓
Nyt vindue (plastkomposit), 2-lag E-rude					✓	✓	✓
Nyt vindue (plastkomposit), 3-lag E-rude – bedre end lovkraft: U = 0,8							
Ventilation							
Nye effektivere ventilationsaggregater		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ventilationsanlæg med varmegenvinding				✓	✓	✓	✓
Varmeanstallationer							
Efterisolering af små uisolerede varmerør	✓				✓	✓	✓
Efterisolering af store uisolerede varmerør	✓				✓	✓	✓
Udskiftning af ældre cirkulationspumpe		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af varmtvandsbeholder	✓				✓	✓	✓
Solafskærmning og køling							
Udvendig variabel persienne							
Udvendig alu lameller					✓	✓	✓
Belysning							
Nyt lavenergi, manuelt		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nyt lavenergi, automatisk styring		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Solenergi							
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Solvarmeanlæg til vbv og rumvarme		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Solcelleanlæg							
Solvæg med ventilation							

¹ RF > 1,33 og TBT < 5 år

² TBT > 5 år og ESP < energipris, renoveringsgrad på 0 %

³ ESP < energipris, renoveringsgrad på 75 %

”Cirkulære tiltag” (Ad. 1 og 2)

Det ses af Tabel 28, at der kun er meget få energibesparende tiltag, som opfylder de økonomiske kriterier i cirkulæret. De har karakter af at være de helt oplagte tiltag, der burde være udført tidligere. De økonomiske kriterier er, at tiltag kun skal gennemføres, hvis de er anført i energimærkningsrapporten som forslag til energibesparelser ”her og nu”, og har en tilbagebetalingstid på under 5 år.

Ser man på de tiltag, der har en tilbagebetalingstid udover 5 år, er mange af dem totaløkonomisk rentable (se ”rentable tiltag, $\kappa = 0, 0\%$ ”). *Faktisk er der 3 gange så mange tiltag, der skulle gennemføres, hvis kriteriet var totaløkonomi.* Dette gælder ved en umiddelbart konservativ betragtning om, at energiprisen udvikler sig svarende til den generelle inflation (realprisstigning på 0 %). Hvis energiprisen stiger mere end inflationen, vil der naturligvis være endnu flere tiltag, der vil være rentable.

Totaløkonomisk rentable tiltag ved renovering (ad. 3)

Der er også anført resultater af beregninger af den ”reelle” rentabilitet for en ældre bygning, som står over for renovering. Der er regnet med en renoveringsgrad på 75 %, svarende til at kun 25 % af anlægsudgiften relateres til energidelen, mens de resterende 75 % relateres til renoveringdelen, dvs. anlægsudgifter der alligevel skal afholdes, hvis bygningen ønskes renoveret og bragt op på et niveau, så den er funktionsdygtig på længere sigt. For en helt nedslidt bygning, hvor valget står mellem renovering eller nedrivning, er renoveringsgraden i princippet 100 %, og energispareprisen nul. Der er dog ikke regnet med en renoveringsgrad på 75 % for tiltag, der er bedre end lovkrav og som er ny energiforsyning med solenergianlæg. *Beregninger viser, at næsten samtlige undersøgte energitiltag er rentable, hvis man implementerer tiltagene, når bygningen generelt er nedslidt og alligevel skal renoveres.* På denne måde kan vidtgående energirenoveringen udføres med en god totaløkonomi.

Levetider

Alle beregninger er foretaget med levetider foreskrevet af Energistyrelsen, og nogle tilfælde tager de ikke tilstrækkeligt hensyn til tiltagets reelle levetid. Dette gælder f.eks. tiltaget udtagning og istandsættelse af ældre dannebrogsvinduer med 1-lag glas og med god trækvalitet, og efterfølgende isætning og montering af forsatsenergiglas, som har en levetid på væsentligt mere end de 20 år, som der er foreskrevet. Det samme gælder generelt for efterisolering af klimaskærmen.

5.2 Samfundsøkonomiske beregninger

I Tabel 29 er vist resultaterne af de samfundsøkonomiske beregninger. Udgiften i kr. pr. sparet kWh/år er beregnet for hvert enkelt energibesparende tiltag, som derefter er sammenholdt med den maksimale udgift, som er samfundsøkonomisk rentabel. Som det fremgår af Figur 1, er den maksimale udgift for varmebesparelser (fjv-ngas) med en levetid på 20 - 40 år ca. 1000 kr pr. sparet GJ/år, svarende til ca. 3,6 kr pr. kWh/år, mens den er ca. 500 kr pr. sparet GJ/år eller 1,8 kr pr. kWh/år ved en levetid på 10 år.

Tabel 29. Resultater af de samfundsøkonomiske beregninger – maksimale udgifter i kr. pr. sparet kWh/år. (Kilowatt timerne er primærenergi).

Energibesparende tiltag	κ = 0 %	Rentabel	κ = 75 %	Rentabel
Ydervægge				
Udv. efterisolering, uisoleret	19,7		4,9	
Udv. efterisolering, dårligt isoleret	31,1		7,8	
Udv. efterisolering, let isoleret	88,7		22,2	
Bedre isolering end lovkrav (U = 0,10)	22,2		22,2	
Tag- og loftkonstruktioner				
Efterisolering af etageadskillelse	2,1	✓	0,5	✓
Efterisolering af uisoleret skunk	1,9	✓	0,5	✓
Efterisolering af let isoleret skunk	9,8		2,5	✓
Efterisolering af let isoleret gitterspær	6,5		1,6	✓
Udv. efterisolering af let isoleret fladt tag	10,3		2,6	✓
Underbygning				
Efterisolering af uisoleret strøgulv	10,8		2,7	✓
Efterisolering af let isoleret strøgulv	16,2		4,1	
Efterisol. af uisoleret terrændæk med VIP	47,4		47,4	
Efterisol. af uisoleret dæk mod kælder	4,4		1,1	✓
Efterisol. af uisoleret krybekælderdek	2,3	✓	0,6	✓
Klimaskærmens lufttæthed				
Passivhus standard	13,3		13,3	
Vinduer				
Ny Energirude	17,0		4,2	
Nyt vindue (dannebrog), 2-lag Energirude	14,8		3,7	
Istandsættelse + forsats Energiglas	39,0		9,7	
Nyt vindue (træ), 2-lag Energirude	44,6		11,1	
Nyt vindue (plastkomposit), 2-lag E-rude	40,9		10,2	
Nyt vindue (plastkomposit), 3-lag E-rude – bedre end lovkrav: U = 0,8	20,0		20,0	
Ventilation				
Nye effektivere ventilationsaggregater	3,6	✓	3,6	✓
Ventilationsanlæg med varmegenvinding	10,7		5,4	
Varmeinstallationer				
Efterisolering af små uisolerede varmerør	0,9	✓	0,2	✓
Efterisolering af store uisolerede varmerør	1,0	✓	0,3	✓
Udskiftning af ældre cirkulationspumpe	4,8		1,2	✓
Efterisolering af varmtvandsbeholder	1,7	✓	0,4	✓
Solafskærmning og køling				
Udvendig variabel persienne	105,7		26,4	
Udvendig alu lameller	28,1		7,1	
Belysning				
Nyt lavenergi, manuelt	4,8		1,2	✓
Nyt lavenergi, automatisk styring	5,2		1,3	✓
Solenergi				
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand	8,2		8,2	
Solvarmeanlæg til vbv og rumvarme	9,1		9,1	
Solcelleanlæg	18,9		18,9	
Solvæg med ventilation	16,1		16,1	

Det er kun få tiltag, der rentable, når hele udgiften relateres til energitiltaget, mens der ikke overraskende er betydeligt flere rentable tiltag, når der regnes med renoveringsgrad på 75 %. Det er bemærkelsesværdigt, at tiltag som udvendig efterisolering af ydervægge og vinduer, som har stor samlet effekt på energiforbruget i eksisterende bygninger, ikke er samfundsøkonomisk attraktive.

Beregningerne er baseret på Energistyrelsens vejledning i samfundsøkonomiske analyser, og problemet er, at de generelt er egnet til prioritering af kortsigtede energibesparelser, men er mindre velegnet til f.eks. isoleringsmæssige tiltag med lange levetider, der formentlig vil være i brug i en fremtidig energisituation uden fossile brændsler. Desuden tager metoden ikke hensyn til det reelle renteniveau for investeringer i bygningsrelaterede tiltag. Der anvendes som standard en real kalkulationsrente på 6 % pr. år, men man åbner dog også mulighed for at man kan gennemføre følsomhedsberegninger med alternative kalkulationsrenter.

Der er ikke foretaget sådanne analyser, da det vurderes at være for omfattende i forhold til rapportens formål. En lavere rente vil naturligvis vise, at flere tiltag er rentable. Det afgørende er imidlertid det overordnede budskab, nemlig at energibesparelser i bygningsmassen, herunder bygninger i den offentlige sektor, er økonomisk fornuftigt, udgør en fremtidssikring af bygningsmassen, og ikke mindst tilfører værdi i form af øget komfort og kvalitet for ansatte og brugere.

6 Vurdering af besparelspotentiale

I dette kapitel foretages vurderinger af det samlede energibesparelspotentiale ved gennemførelse af energibesparende tiltag i bygninger i hele den offentlige sektor i Danmark.

Det samlede energiforbrug i den offentlige sektor var 26,2 PJ²⁸ i 2006. Heraf udgjorde varmekonsumet i offentlige bygninger 16,2 PJ, hvilket svarer til ca. 8 % af det samlede varmekonsum i danske bygninger på 211 PJ. Elforbruget i den offentlige sektor var 9,5 PJ i 2006, hvoraf de ca. 5,1 PJ gik til bygningsdrift, som indgår i energirammen. Resten af elforbruget i den offentlige sektor fordeles ifølge opgørelse udført af Birch og Krogboe [3] på bl.a. trykluft, blæsere, procesvarme, motorer, elektronik og diverse. Denne del af elforbruget er ikke behandlet i nærværende udredning. Der er endvidere set bort fra køling, som ifølge opgørelsen kun udgør 3 % af elforbruget.

Vurderingen af energibesparelspotentialet baseres på en samlet vurdering af standen af bygningerne i den offentlige sektor, samt en vurdering af de tekniske muligheder for energibesparelser. Sidstnævnte er gennemgået i kapitel 2.

Energibesparelspotentialet i bygninger afhænger i høj grad af bygningernes alder og stand. Ca. 75 % af alle offentlige bygninger er opført før 1977²⁹, hvor der for første gang blev indført egentlige stramninger af energibestemmelserne i bygningsreglementet og kun ca. 10 % af de offentlige bygninger er opført efter indførelsen af BR 1995, som energimæssigt er ca. 30 % dårligere end det nye BR2008. En del af bygningerne er blevet renoveret gennem tiden, men der er for hovedparten af bygningerne kun gennemført energibesparende tiltag i meget begrænset omfang. Størsteparten af de offentlige bygninger i Danmark er således i relativ dårlig energimæssig stand, og der er derfor et betydeligt energibesparelspotentiale ved at implementere energibesparelsetiltag.

En gennemgang af diverse undersøgelser vedr. energiforbruget i offentlige bygninger viser, at energiforbruget i bygningerne generelt er væsentligt højere end energirammen i BR2008 for nye bygninger på ca. 95 kWh/m². De vigtigste nøgletal er vist i Tabel 30. I de viste opgørelser er elforbruget som udgangspunkt registreret som det samlede elforbrug, mens det beregnede elforbrug for bygning 118, DTU kun indeholder el til bygningsdrift, som skal medregnes i energirammen. For at gøre tallene sammenlignelige er de viste elforbrug (markeret med *) reduceret svarende til andelen af el som ifølge [3] går til bygningsdrift ved at gange med en faktor $5,1 / 9,5 = 0,54$ jf. ovenfor.

²⁸ Energistyrelsens Energistatistik 2006.

²⁹ Vurderet ud fra oplysninger fra Danmarks Statistik om anvendelse og opførelsesår for bygninger.

Tabel 30. Gennemsnitlige energiforbrug i offentlige bygninger fordelt på anvendelse.

		Varme	El til byg- ningsdrift	I alt	El x 2.5	I alt
	Kilde	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Bygning 118, DTU	Beregnet i kapitel 3	100	12	112	30	130
Bygning 118, DTU	Målt	183	12	195	30	213
Skoler, hele landet	www.tjekskoleforbrug.dk	100	13*	113	32	132
Statens bygninger	www.eis.teknologisk.dk	133	33*	166	83	216
Blandede bygninger	Middelfart Kommune	115	17*	132	43	158
Daginstitutioner	Abertslund kommune	176	24*	200	60	236
Skoler	Abertslund kommune	144	16*	160	39	183

Det fremgår af Tabel 30, at der er en stor variation af energiforbruget i forskellige bygninger og forskellige opgørelser, men generelt ligger energiforbruget meget højt, hvilket indikerer, at der er store besparelspotentialer ved at gennemføre energisparetiltag. Mange af bygningerne står i forvejen overfor store renoveringer og opgradering til nutidig standard, hvilket gør implementering af energibesparesestiltag yderligere økonomisk lønsomme.

Der er ved beregningerne af energibesparelspotentialerne taget udgangspunkt i en sammenvejning af besparelspotentialerne angivet i [3] og vurderinger ud fra eksemplerne for de forskellige energibesparelsemuligheder beskrevet i afsnit 2 sammenlignet med bygningsstandarden og besparelsemulighederne i bygning 118 på DTU, som er beskrevet i afsnit 3.1. Det er således antaget, at denne bygning repræsenterer en gennemsnitlig bygning i den offentlige sektor med hensyn til energiforbrug, isoleringsniveau og anvendelse m.m. Dette underbygges af energiforbrugene vist i Tabel 30, hvoraf det fremgår at energiforbruget i bygning 118 på DTU er på niveau med gennemsnittet af offentlige bygninger i Danmark.

6.1 Lønsomt energibesparelspotentiale

Som tidligere nævnt kan lønsomheden af energibesparesestiltag vurderes ud fra forskellige økonomiske kriterier. Det er derfor valgt at vurdere energibesparelspotentialerne ud fra både privatøkonomisk og samfundsøkonomisk synsvinkel.

Implementeringen af de i kapitel 2 foreslåede energibesparesestiltag varierer meget mht. hvor hurtigt de kan gennemføres. Nogle tiltag, f.eks. efterisolering af varmeinstallationer eller udskiftning af ruder vil kunne gennemføres ”her og nu” mens andre mere omfattende tiltag forventes at kunne gennemføres på længere sigt under forudsætning af en forceret forskning og udviklingsindsats i de kommende år. Det er valgt at fremhæve alle tiltag samlet under et.

6.1.1 Privatøkonomisk

Ved vurderingen af det privatøkonomisk rentable besparelspotentiale er der taget udgangspunkt i Tabel 28, som viser, at langt de fleste energisparetiltag er privatøkonomisk lønsomme. Derfor er der medtaget forslag til energisparetiltag til alle de vigtigste slutanvendelser og bygningsdele.

Elforbruget, som indgår i energirammen, er ifølge [3] procentvis fordelt på forskellige anvendelser som vist i Tabel 31 nedenfor. Denne fordeling er brugt til at bestemme hvordan det samlede elforbrug på 5,1 PJ fordeler sig. Tabellen viser også besparelspotentialet for de

forskellige anvendelser baseret på [3] og vurderinger ud fra eksemplerne i afsnit 2. Besparelserne er opgjort i procent for hver anvendelse og herudfra er besparelspotentialet for den samlede offentlige bygningsmasse i Danmark bestemt.

Tabel 31. Fordeling af elforbrug i offentlige bygninger i 2006 mht. slutanvendelser samt privatøkonomisk rentable energibesparelspotentialer. Der er kun medtaget elforbrug som skal medregnes i energirammen.

Slutanvendelse	Nuv. elforbrug		Tiltag	Elbesparelse	
	[%]	[PJ]		[%]	[PJ]
Belysning	32	3,0	Nyt belysningssystem, aut. styring	80	2,4
Ventilation	11	1,1	Mekanisk vent. m. varmegenvinding	45	0,5
Pumpning	11	1,0	Sparepumpe	75	0,8
I alt		5,1		72	3,7

Det fremgår af Tabel 31, at der kan opnås en energibesparelse på 3,7 PJ/år ved at gennemføre energibesparelser på elforbruget svarende til 72 %.

I Tabel 32 er varmetabet fra offentlige bygninger i 2006 fordelt på forskellige bygningsdele vist sammen med de mulige energibesparelspotentialer. Besparelserne som er baseret på [3] og vurderinger ud fra eksemplerne i kapitel 2 er opgjort i procent for hver anvendelse og herudfra er besparelspotentialet for den samlede offentlige bygningsmasse i Danmark bestemt.

Tabel 32. Fordeling af varmetabet i offentlige bygninger samt privatøkonomisk rentable energibesparelspotentialer.

Bygningsdel	Nuværende Varmetab		Tiltag	Varme- besparelse	
	[%]	[PJ]		[%]	[PJ]
VBV og varmeinstal.	11	1,8	Isolering af rør og VVB	70	1,2
Vinduer	16	2,6	Nye vinduer med energirude	84	2,2
Tag	8	1,3	Efterisolering af tag	82	1,1
Ydervægge	26	4,2	Efterisolering af ydervægge	80	3,4
Terrændæk	12	1,9	Efterisolering af terrændæk	67	1,3
Ventilation	27	4,4	Mekanisk vent. m. varmegenvinding	69	3,0
I alt	100	16,2	Alle tiltag	75	12,2

Det fremgår af Tabel 32, at der kan opnås energibesparelser på 12,2 PJ/år, svarende til 75 % af varmeforbruget i 2006 ved at gennemføre besparende tiltag i offentlige bygninger. Som vist i Tabel 28 er energispareprisen for de nævnte tiltag alle lavere end energiprisen hvilket indikerer, at de er privatøkonomiske lønsomme. Dette gælder selv med en renteudvikling i energipriser på 0 % for flere af tiltagene. **Det samlede privatøkonomisk lønsomme besparelspotentiale i offentlige bygninger er således i alt 15,9 PJ/år, hvilket svarer til en besparelse på 74 %.**

Beregningerne beskrevet i afsnit 3.1 af energibesparelserne ved energirenovring af bygning 118 på DTU viser ligeledes, at der kan opnås betydelige energibesparelser ved implementering af energibesparende tiltag. Beregningerne viser en reduktion af energibehovet til rumopvarmning fra 85,5 kWh/m² til 12,2 kWh/m² svarende til en besparelse på hele 86 %.

El-forbruget til bygningsdrift reduceres med 57 % og det samlede energibehov reduceres fra 129,9 kWh/m² til 38,5 kWh/m² svarende til en besparelse på 71 %. Altså lidt mindre besparelse end det ovenfor nævnte, men til gengæld er det beregnede energiforbrug i bygning 118 på DTU lavere end i gennemsnittet af offentlige bygninger, som det fremgår af Tabel 30, hvilket underbygger at det samlede besparelspotentiale i offentlige bygninger i Danmark på 15,9 PJ/år er realistisk.

6.1.2 Samfundsøkonomisk

På basis af metoden beskrevet i afsnit 4.2 er der foretaget en vurdering af energibesparelspotentialer som er samfundsøkonomisk rentable. Der er taget udgangspunkt i Tabel 29 som viser hvilke energisparetiltag, der er samfundsøkonomisk rentable. Det samfundsøkonomisk rentable besparelspotentiale er i øvrigt gjort op på samme måde som det privatøkonomiske (se afsnit 6.1.1).

Tabel 29 viser, at efterisolering af ydervægge og udskiftning af vinduer ikke umiddelbart er samfundsøkonomisk rentabelt, når beregningsgrundlaget er en kalkulationsrente på 6 % (renset for inflation). Disse tiltag er derfor ikke medtaget i den samfundsøkonomiske opgørelse. Ligeledes fremgår det af Tabel 29, at det er samfundsøkonomisk rentabelt at udskifte de gamle ventilationsaggregater til nye mere effektive, mens det ikke er samfundsøkonomisk rentabelt at etablere et nyt mekanisk ventilationssystem med varmegenvinding i bygninger med naturlig ventilation uden varmegenvinding, på trods af at det kan medføre betydelige varmebesparelser. Besparelspotentialet vedr. varmetab for ventilationsanlæg er derfor reduceret fra 69 % (privatøkonomisk rentable) til 45 %. Resultaterne er vist i Tabel 33 for el-besparelser og Tabel 34 for varmebesparelser.

Tabel 33. Fordeling af elforbrug i offentlige bygninger i 2006 mht. slutanvendelser samt samfundsøkonomisk rentable energibesparelspotentialer.

Slutanvendelse	Nuv. elforbrug		Tiltag	Elbesparelse	
	[%]	[PJ]		[%]	[PJ]
Belysning	32	3,0	Nyt belysningssystem, aut. styring	80	2,4
Ventilation	11	1,1	Nye effektivere ventilationsaggregater	45	0,5
Pumpning	11	1,0	Sparepumpe	75	0,8
I alt		5,1		72	3,7

Tabel 34. Fordeling af varmetabet i offentlige bygninger samt samfundsøkonomisk rentable energibesparelspotentialer.

Bygningsdel	Nuværende Varmetab		Tiltag	Varme-besparelse	
	[%]	[PJ]		[%]	[PJ]
VBV varmeinstal.	11	1,8	Isolering af rør og VVB	70	1,2
Tag	8	1,3	Efterisolering af tag	82	1,1
Terrændæk	12	1,9	Efterisolering af terrændæk	67	1,3
Ventilation	27	4,4	Nye effektivere ventilationsaggregater	45	2,0
I alt, udvalgte	58	9,4	Alle tiltag	59	5,6
I alt, total	100	16,2	Alle tiltag	34	5,6

Det fremgår af Tabel 33 og Tabel 34, at det samfundsøkonomisk er lønsomt at gennemføre energibesparelserne for belysning, pumper, isolering af varmeinstallationer, samt isolering af tag og terrændæk, idet udgifterne til energibesparelsen pr sparet kWh primærenergi under 3,6 kr. Det samlede samfundsøkonomisk rentable energibesparelspotentiale er 9,3 PJ/år svarende til 43 %. Dette er noget lavere end det privatøkonomisk rentable potentiale, hvilket skyldes, at vinduesudskiftning og efterisolering af ydervægge ikke er med, samt at besparelspotentialet for ventilation er reduceret, idet det ikke er samfundsøkonomisk at etablere nye ventilationssystemer med varmegenvinding. Det skyldes, som tidligere nævnt, at den samfundsøkonomiske vurderingsmetode er mest egnet til prioritering af kortsigtede energibesparelser og mindre velegnet til tiltag med lange levetider som f.eks. efterisolering. Desuden tager metoden ikke hensyn til det reelle renteniveau for investeringer i bygningsrelaterede tiltag. Der anvendes i henhold til Energistyrelsens vejledning en real kalkulationsrente på 6 % pr. år som standard, hvilket kan være højt sat. Hvis beregningerne gennemføres med lavere og måske mere realistisk rente, vil flere af tiltagene være rentable og dermed resultere i et større samfundsøkonomisk besparelspotentiale.

6.2 Investeringsbehov

Ifølge Danmarks Statistik (Statistisk Årbog 2006, tabel 295) er det samlede areal af offentlige bygninger ca. 41 mio. m². Bygningerne er fordelt på vidt forskellige størrelser og anvendelser.

Vurdering af investeringsbehovet til gennemførelse af energibesparelserne tager udgangspunkt i bygning 118 på DTU, da det som ovenfor nævnt vurderes, at den repræsenterer en gennemsnitlig bygning i den offentlige sektor med hensyn til energiforbrug, isoleringsniveau og anvendelse m.m. Bygningen er opført i 1970, og der er stort set ikke foretaget nogen energimæssige forbedringer, bortset fra at nogle af ruder er udskiftet til energiruder. Denne situation vurderes at være kendetegnende for en stor del af bygningerne i den offentlige sektor.

Som en del af EU's klimastrategi har de 27 medlemslande vedtaget, at vedvarende energi i 2020 skal udgøre 20% af EU's samlede energiforbrug, drivhusgas emissionerne skal reduceres med mindst 20% frem til 2020 i forhold til 1990, og der skal spares 20% af EU's energiforbrug frem til 2020 i forhold til de oprindelige prognoser for energiforbruget i 2020. Man har således valgt 2020 som en passende tidshorisont for at opfylde nogle af de vigtigste målsætninger i klimastrategien.

Det er på denne baggrund valgt at opgøre investeringsbehovet til indfrielse af energibesparelspotentialet ud fra en målsætning om, at de foreslåede energibesparende tiltag skal gennemføres frem til 2020. En tidshorisont på 12 år er ikke meget til gennemførelse af så omfattende energiforbedringer, men det vurderes at kunne lade sig gøre med en målrettet indsats.

Det antages, at energitiltagene kan gennemføres efterhånden som bygningerne alligevel skal renoveres. Derfor reduceres anlægsudgifterne svarende til renoveringsgraden for de aktuelle tiltag. Da behovet for renoveringer varierer for de forskellige bygningsdele, varierer renoveringsgraden tilsvarende. Det er næppe alle bygninger eller bygningsdele, som trænger til renovering inden for den forholdsvis korte tidshorisont på 12 år, hvilket medfører lavere renoveringsgrader og dermed større investeringsbehov. Anlægsudgifterne til gennemførelse af de energibesparende tiltag er vist i Tabel 35.

Tabel 35. Anlægsudgifter til etablering af energibesparende tiltag i offentlige bygninger.

Energibesparende tiltag	Enheds- pris [kr/m ²]	Mængde [mio. m ²]	Anlægs- udgift [mia. kr.]	Renoverings- grad [%]	Anlægsudgift energiltag [mia. kr.]
Efterisolering af ydervægge	2.240	12,6	28,3	75	7,1
Merpris for ekstra isolering	120	12,6	1,5	0	1,5
Efterisolering af kælderydervæg.	900	6,3	5,6	0	5,6
Efterisolering af tag	500	10,3	5,1	50	2,6
Nye vinduer	3.500	6,3	22,2	75	5,6
Merpris lavenergivinduer	500	6,3	3,2	0	3,2
Mekanisk vent. m. varmegenv.	300	41,0	12,3	75	3,1
Nyt belysningssystem	280	41,0	11,5	50	5,7
Udskiftning af cirkulationspumpe	3.000	11.755	0,04	100	0
I alt			89,8		34,3

De samlede udgifter til energiltag til realisering af energisparepotentialet på 15,9 PJ er altså vurderet til i størrelsesordenen 34 mia. kr. i nuværende priser. Fordeles dette investeringsbehov ligeligt over de næste 12 år i perioden frem til 2020, vil der være tale om et årligt investeringsbehov på ca. 2,9 mia. kr.

6.3 Besparelse i energiudgifter

Det er relevant at få oversat energisparepotentialet til kroner og øre med henblik på at fastlægge hvor meget der kan spares. Ifølge Danmarks Statistik er de samlede årlige energiudgifter for det offentlige på 6,9 mia. kr. i markedspriser (2006 niveau). Dette beløb er fremkommet ved at summere udgifterne angivet for 4 bygningskategorier (offentlig administration, undervisning, sundhedsvæsen og sociale institutioner) og de relevante energiformer (fjernvarme, naturgas, fyringsolie og el) - se Tabel 36.

Tabel 36. Energiudgifter i offentlige bygninger (i 1000 kroner).

Energiform	Offentlig administration	Undervisning	Sundhedsvæsen	Sociale institutioner	I alt
Fyringsgasolie	186.859	122.390	58.437	97.059	464.745
Naturgas	120.220	220.806	136.327	225.832	703.185
El	585.291	1.204.699	742.930	1.231.988	3.764.908
Fjernvarme	334.841	622.672	383.735	636.717	1.977.965
	1.227.211	2.170.567	1.321.429	2.191.596	6.910.803

Det er kun en del af elforbruget, der er relateret til bygningsdrift. Denne andel er tidligere fastlagt til 54 %, svarende til at udgiften til el til bygningsdrift er ca. 2 mia. kr. pr. år. På baggrund af de tidligere beregnede energisparepotentialer (72 % på el og 75 % på varme) kan besparelsen i energiudgifterne i den offentlige sektor beregnes til ca. 3,8 mia. kr. pr. år.

7 Realisering af energibesparelspotentiale

Det offentlige har i kraft af at være landets største samlede bygherre en stor indflydelse på det øvrige byggeri, og det må antages også at gælde på renoveringsområdet, som denne rapport vedrører. Initiativer, der retter sig mod at mindske energiforbruget i offentlige bygninger, har derfor stor betydning for den øvrige bygningsmasse. Det skønnes, at offentligt nybyggeri udgør ca. 15 % af det samlede nybyggeri³⁰ og omtrent samme betydelige andel må gælde renovering. Offentlige bygherrer kan ved at stille høje krav til private leverandører fungere som katalysator for energibesparelser i bygninger generelt i Danmark til fordel for miljøet. Det er ikke tilstrækkeligt at der er god idé i at det offentlige går foran, der er også behov for at rydde de barrierer af vejen, som i stor stil afholder staten, kommuner og regioner fra at udføre rentable energibesparelserprojekter.

7.1 Barrierer for energibesparelser i kommunerne

Barriererne findes især i kommunerne og omhandler f.eks. manglende politiske incitamenter og for dårlige beslutningsgrundlag. Kommunernes Landsforening gennemførte tilbage i 2004 en større undersøgelse af barriererne, som blev udmøntet i to rapporter³¹ om dels barriererne generelt og dels barriererne set ud fra kommunalpolitikernes øjne. Det fastslås i rapporterne, at der særligt er barrierer af teknisk, økonomisk og styringsmæssig karakter, og at der generelt er mangel på viden om energibesparelser. De primære barrierer for energibesparelser er opsummeret for fire emner:

Økonomi og styring: Beslutninger om energimæssige tiltag træffes som led i en politisk proces, som ikke altid er økonomisk rationel. Kommunerne ser energibesparende tiltag som en udgift og ikke som en investering – dvs. den politisk-økonomiske kultur i kommunerne kan karakteriseres som kortsigtet og udgiftsorienteret. Det økonomiske incitament til energibesparelser er mudret eller ikke eksisterende. Politikerne vil hellere bruge penge på mere attraktive og synlige tiltag - ”Det er synliggørelsen, der tæller”

Organisering og fokus: Energiansvaret er placeret hos ledere, som ikke nødvendigvis har energimæssige, tekniske og økonomiske kompetencer. Der mangler et bindeled mellem de forskellige led i organisationen (mellem institutioner og rådhus), og der mangler ledelsesmæssig og politisk fokus.

Viden og information: Kommunerne mangler viden om energibesparende tiltag. De teoretiske tal for energibesparende tiltag opfattes som usikre, dvs. energimærker, leverandørplysninger mv., hvilket resulterer i en manglende tillid til beslutningsgrundlaget.

Adfærd: Hvis de fysiske rammer er slidte, kan det være svært at få folk til at ændre adfærd. Der er en forventning/fordom om, at det ikke er muligt at adfærdspåvirke medarbejdere/elever mv., men det kan ændres, hvis adfærdsændringer mere tydeligt belønnes.

Undersøgelserne konkluderer, at i et politisk og økonomisk system, som fokuserer på indtægter og udgifter i de enkelte år, står energitiltag meget svagt, fordi deres fremtidige gevinster ikke tæller i den sammenhæng. Energitiltagene er en del af en politisk

³⁰ Jf. Byggepolitisk Handlungsplan: ”Bedre og billigere byggeri”, Økonomi- og Erhvervsministeriet, maj 2007

³¹ ”Barrierer for energibesparelser i kommuner og kommunale institutioner”, KL for Energistyrelsen, 2004. ”Barrierer for energibesparelser i kommuner og kommunale institutioner – set med kommunalpolitikernes øjne”, KL for Energistyrelsen, 2004.

beslutningsproces, som går ud på at fordele penge, og som ikke har fokus på at spare penge gennem energiinvesteringer. Der eksisterer altså som udgangspunkt ikke en egentlig investeringskultur. En løsning er ikke kun en fjernelse af de økonomiske barrierer, men det er i lige så høj grad at supplere med en passende organisation, hvor der er bindeled til den energifaglige viden på tværs i kommunen.

Kommunalpolitikerne påpeger, at det er et problem, at de agerer i en verden, hvor andre end de økonomiske logikker er i spil. Flere erkender, at det i virkeligheden ikke kan betale sig at lade være med at gennemføre de energibesparende tiltag, men budgetterne er stramme, og de har ikke umiddelbart interesse i at tage midler fra serviceniveauet for at kunne investere i energibesparende tiltag (deres tidshorisont er 4 år, hvorefter de skal genvælges). Borgernes interesse er politikernes interesse, og så længe der ikke eksisterer et borgerpres om at lave energibesparelser for at frigive flere ressourcer (de agerer blot som brugere), så sker der ikke noget. Slutteligt er også dårlige/usikre beslutningsgrundlag fra forvaltningerne i mange tilfælde årsag til, at energibesparende tiltag fravælges.

Eksempler på løsninger af barrierer er på baggrund af rapporterne blevet diskuteret på et aktørseminar³². Det vil være for omfattende at komme ind på resultaterne af disse diskussioner i denne sammenhæng, så der gengives her blot en oversigt over overskrifter for de enkelte emner, hvorfra der blev diskuteret løsninger (se Tabel 37).

Tabel 37. Barrierer og muligheder for at overvinde dem.

Økonomi og styring	Organisering og fokus	Viden og information	Adfærd
Budgetposttænkning	Decentralisering kontra centralisering	Synliggørelse af forbrug og besparelser – det politiske niveau	Adfærd/teknik
Finansiering	Samarbejde	Synliggørelse af forbrug og besparelser – det udførende niveau	Synliggørelse
Investering kontra udgift	Ildsjæle	EMO-ordningen og anvendelse heraf	Mennesker
Driftsbudgetter	Ejerskab	Viden om energibesparelsesmuligheder	
Systematisk energiarbejde		Samarbejde	

Anbefalinger på løsninger af generelle barrierer for energibesparelser i offentlige bygninger, herunder i kommunale bygninger, er der redegjort for i kapitlets sidste afsnit.

7.2 ESCO's som barrierebryder i den offentlige sektor

EU direktiv 2006/32 om energitjenester, der træder i kraft i 2008, er en god mulighed for at fremme energibesparelser i den offentlige sektor. Men leverandører af energitjenester, de såkaldte ESCO's (Energy Service Companies), bliver ikke i tilstrækkelig grad tilskyndet til at finansiere energibesparelser mod at få del i de opnåede besparelser på grund af diverse

³² Aktør seminar 9. november 2004 – Barrierer og muligheder for energibesparelser i kommunerne, Eigtveds Pakhus, KL og Energistyrelsen

lovgivningsmæssige barrierer og mangel på standardløsninger og andre metoder til reduktion af ESCO virksomhedernes og i sidste ende samfundets omkostninger. Konceptet er nyt i Danmark, og det afprøves bl.a. i et projekt³³, som udføres af det lokale netselskab i Horsens kommune. Projektet skal udvikle en model, der skal gøre det attraktivt for kommuner og regioner at opnå energibesparelser gennem energitjenester. Modellen skal bl.a. indeholde beskrivelser af indhold, samarbejdsrelationer og krav til dokumentation i form af en varedeklaration. Modellen afprøves i en kommunal institution. Projektet afsluttes ultimo 2007.

Desuden skal nævnes et mere generelt projekt om ”Energitjenester i Danmark” med Statens Byggeforskningsinstitut som projektleder. Formålet med projektet er at medvirke til at udnytte de store potentialer for energibesparelser i byggeriet indenfor det offentlige, i industrien og i servicesektoren gennem tilvejebringelse af et bedre beslutningsgrundlag for ESCO’s og bygningsejerne. EU’s energitjenestedirektiv peger på bygningsområdet som det sted, hvor det største uudnyttede marked for energitjenester og energieffektivisering findes. Derfor er det specielt intentionen i projektet at se på investeringer i energibesparende foranstaltninger, som umiddelbart har en lidt længere tilbagebetalingstid (> 5 år), som såvel offentlige som private virksomheder derfor ikke umiddelbart vil kunne se en fordel i at investere i selv, men som har en god samfundsøkonomi. Man vil kort sagt demonstrere en ”markedsorienteret energispareindsats” for investeringer, som traditionelt undgås af bygningsejerne. Projektets målgrupper er potentielle aftagere af energitjenester, dvs. kommunale og offentlige bygningsejere og virksomheder og ESCO’s i Danmark.

7.3 Nyeste politiske udviklinger

Aftale mellem KL og Transport og Energiministeriet

I oktober 2007 blev der indgået aftale mellem Kommunernes Landsforening (KL) og Transport og Energiministeriet om, at kommunerne gennemfører de samme energibesparelser, som de statslige institutioner er forpligtet til ifølge cirkulære om energieffektivisering af statens institutioner fra 2005. Aftalen løber frem til 2012, hvor der gennemføres en fælles evaluering af indsatsen. Dermed er kommunerne nu også forpligtet til at gennemføre energibesparelser, men de er underlagt det samme beskedne krav om kun at realisere energibesparelser, der har en tilbagebetalingstid på under fem år. Derved vil mange rentable besparelser i tiltag med lang levetid ikke blive udført. Dette er til stor skade for de langsigtede mål om en økonomisk optimal udfasning af fossile brændsler, som energibesparelser i bygningsmassen kan bidrage væsentligt til at opfylde.

Forsinkelse af energimærkning af mindre offentlige bygninger

Regeringen har udskudt fristen for energimærkning af offentlige bygninger under 1.500 m², der ikke tidligere har været omfattet af krav om regelmæssig energimærkning, så de første gang skal være energimærket senest 1. juli 2009 i stedet for 1. januar 2008. Det fremgår af bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om energimærkning af bygninger. Dette er naturligvis ikke stimulerende for realisering af det betydelige energisparepotentiale i den offentlige sektor, da energimærkningen er en forudsætning for implementeringen af energibesparende tiltag i henhold til ”Cirkulære om energieffektiviseringer af statens

³³ Projekt under Dansk Energis program for forskning og udvikling i effektiv energianvendelse. ELFORSK projekt 338-028: Energitjenester i den offentlige sektor: <http://www.elforsk.dk/projektinfo.asp?m=4&projektID=90>

institutioner” og nu også kommunernes bygninger (jf. ovenfor). Samtidig harmonerer det heller ikke med hensigten om, at det offentlige skal gå foran, når det gælder energibesparelser mv.

Energibesparelser i kommunerne

Mange kommuner gør en betydelig indsats for at begrænse energiforbruget. Når det drejer sig om bygninger, så har en række kommuner efterhånden erfaringer med lavenergi nybyggeri via salg af grunde med deklarerede krav om lavenergibyggeri. Men det er i den eksisterende bygningsmasse at potentialet ligger, og her er der kun enkelte kommuner, som har ”turde” tage kampen op mod de unødigt store energiforbrug i deres egne og lejede bygninger.

Den nok mest aktive på området er Albertslund Kommune, som fik Nordisk Råds Natur- og Miljøpris 2007. Albertslund har erkendt, at der er et enormt potentiale for energibesparelser i deres eksisterende bygningsmasse, og de vil gerne gå foran som et godt eksempel. Man har også erkendt, at der er brug for at udvikle løsninger, der er økonomisk fornuftige og relevante for borgere og virksomheder. Kommune har derfor oprettet et Miljøvidencentret med aktører fra kommunen, forskningsinstitutioner, rådgivere og entreprenører, som skal drive den nye energispareindsats på den eksisterende bygningsmasse i gang. Centret skal bidrage til erfaringsopsamling, information, udstilling og inspiration til energirigtig bygningsrenovering.

Et andet eksempel er Middelfart Kommune, som har en ambition om at være Danmarks grønneste vækstkommune, og et af de væsentligste tiltag er energirenovering af kommunens egne bygninger med det formål at skabe bedre bygninger, reducere et betydeligt efterslæb i bygningsmassen og at opnå betydelige ressourcebesparelser. Man har i et forstudie opgjort investeringsomfanget til energisparetiltag til 33-41 mio. kr., som vurderes at betale sig hjem over 6-10 år, hvilket er særdeles fornuftigt i relation til levetiden af investeringerne. På baggrund af foranalysen blev opgaven med at gennemføre energibesparelser sendt i udbud, og TAC og Middelfart Kommune er gået i samarbejde om et kombineret miljø- og energiprojekt, hvor sparede udgifter til energi bidrager økonomisk til at modernisere kommunens bygninger. Middelfart Kommunes bygninger på i alt ca. 190.000 m² vil i løbet af det næste par år blive renoveret, men projektet løber over 7-9 år, og skulle således også gennemføre investeringer med længere tilbagebetalingstid end de fem år, som gælder for offentlige institutioner. Det drejer sig om vuggestuer, børnehaver, folkeskoler, skolefritidsordninger, andre skoler og institutioner, idrætshaller, kulturinstitutioner, ældre- og plejecentre, handicapinstitutioner, administrationsbygninger mv.

TAC garanterer, at energibesparelser vil dække udgifterne til renovering. Det er første gang en dansk kommune indgår en aftale om renovering for energibesparelser, men svenske kommuner har i flere år arbejdet med sådanne ESCO løsninger.

Ny planlov stimulerer til energibesparelser

Tidligere har kommuner kun kunnet stille mere vidtgående energi og miljø krav ved byggeri, hvis de selv ejede jorden. Det har betydet, at kommuner, der har ønsket at stille de krav i realiteten, har måttet gå omveje eller helt give op. For eksempel har Stenløse Kommune været nødt til at først at købe jorden til en ny bydel, tinglyse servitutter på området - for derefter at sælge grundene igen. Krav om opførelse af 750 boliger som lavenergibyggeri i bydelen Stenløse Syd skønnes at medføre årlige energibesparelser på 2 mio. kWh. En ændring af Planloven medio 2007 har dog gjort det muligt for kommunerne at stille krav om, at nybyggeri skal opføres efter bygningsreglementets lavenergistandarder gennem lokalplanerne

for nye udstykninger. De første erfaringer med de nye muligheder viser at størstedelen af kommunerne ikke udnytter muligheden for at kræve nye huse opført som lavenergibyggeri, men man må dog formode at der er tale om begynder vanskeligheder. Nybyggeri til lavenergiveau er nødvendigt, men nybyggeriet er meget begrænset set i forhold til den samlede bygningsmasse, så hvis kommunerne skal bidrage væsentligt til at forbedre Danmarks CO₂ regnskab, så er der behov for at de også kan stille vidtgående krav ved renovering.

Kvalitetsreform – herunder midler til bygningsforbedringer

Regeringen vil med en kvalitetsreform³⁴ forny og udvikle kvaliteten i den offentlige sektor. Man har foreslået, at der via en fond afsættes 50 mia. kr. til medfinansiering af investeringer og udvikling på sygehuse, skoler, ældreboliger, daginstitutioner mv. Heraf vil et betragteligt beløb blive afsat til bedre fysiske rammer, hvor målet er at give et mærkbart løft i bygningsstandarder mv. gennem nybyggeri, ombygning, tilbygning og renovering. Midlerne skal udmøntes over 10 år (2009-2018), og kommuner og regioner skal selv bidrage med egenfinansiering for at få del i midlerne. En medfinansiering af energirenoveringer af offentlige bygninger med det formål at øge bygningernes energieffektivitet til lavenergiveau bør prioriteres, da det er samfundsmæssigt fornuftigt på både kort og langt sigt og kan bidrage betydeligt til en bæredygtig udvikling i Danmark, bedre konkurrenceevne og sikring af forsyningssikkerheden.

7.4 anbefalinger på løsninger af barrierer.

Der anbefales følgende tiltag for løsning af barrierer for energibesparelser i offentlige bygninger:

- Rapportens analyser peger på, at der er behov for andre kriterier og metoder for vurdering af økonomien i energibesparende tiltag i relation til bygningsreglementet, cirkulære og bekendtgørelser, hvis man vil have et stort rentabelt besparelspotentiale udnyttet i bygninger i den offentlige sektor.
- Et marked for energitjenester, vil kunne hjælpe på at fremme energibesparelser i den offentlige sektor. Ældreområdet, folkeskolen og svømmehaller er oplagte steder at tilbyde energitjenester.
- Udvikling og indførelse af fleksible finansierings- eller låneordninger for institutioner i den offentlige sektor, f.eks. som i regi af kvalitetsreformen.
- Fokus på synliggørelse af energiforbrug/-udgifter i borgernes nærmiljø, dvs. særligt kommunerne, så der skabes grundlag for et borgerkrav om rationelle energibesparelser for at frigive flere ressourcer til skoler, ældrepleje mv.
- Stimulere til bedre beslutningsgrundlag fra kommunale forvaltninger mv., som beslutningstagerne kan have tillid til, så energibesparende tiltag ikke fravælges på grund af overfladiske energimærkningsrapporter, usikre leverandøroplysninger mv.

³⁴ <http://www.kvalitetsreform.dk/>

- En passende organisation, der stimulerer til energibesparelser, hvor ansvaret for gennemførelse af energibesparende tiltag er klart defineret, og hvor alle relevante kompetencer i organisationen spiller sammen.
- Mere forskning og udvikling af bedre og billigere energirenoveringsløsninger, der kan forbedre energieffektiviteten med moderate ekstra omkostninger. I bilag 1 er der omtalt et større EU-forskningsprojekt om energirenovering af offentlige bygninger.
- Offentlige bygninger kan bruges som drivkraft til at øge opmærksomheden på og gøre samfundet modtagelig overfor energidebatten. Det anbefales derfor, at der gennemføres et større demonstrationsprojekt, hvor der foretages energirenovering til lavenerginiveau for forskellige typer af offentlige bygninger, som fx institutter, skoler, kulturcentre, børneinstitutioner, kollegier, kirker mv.
- Hvis det offentlige (regeringen og folketinget) går foran med et sådan projekt, vil det være et meget positivt signal, som vil være med til at ”kickstarte” indsatsen for at (lav)energirenovere hele bygningsmassen, som forberedelse til en situation, hvor energiforsyningen alene skal være baseret på vedvarende energi.

8 Referencer

- [1] Handlingsplan for en fornyet energispareindsats – Energibesparelser og marked. Transport- og energiministeriet, september 2005.
- [2] Cirkulære om energieffektivisering af statens institutioner + notat vedr. høring af udkast til cirkulære om energieffektivisering i statens institutioner. Transport- og energiministeriet, 2005.
- [3] Potentiale vurdering. Energibesparelser i husholdninger, erhverv og offentlig sektor. Sammenfatning af eksisterende materiale og analyser. Birch & Krogboe A/S, 2004.
- [4] Efterisoleringskatalog. Projekt Renovering. Projekt nr. 107. By- og Boligministeriet 1999
- [5] Nørgård, J. S., Nielsen, T. R. Lighting. Lecture note for course “Energy end –use savings and the environment”. BYG.DTU, 2005
- [6] Nielsen T. R. et al. A Simple Energy Rating for Solar Shading Devices, BYG.DTU, 2003.
- [7] Faglig baggrundsrapport. Handlingsplan for en fornyet indsats. Energibesparelser og marked. Energistyrelsen, 2004

Bilag 1: Relateret igangværende forskningsprojekt

BRITA in PuBs

Projektets forkortelse står for ”Bringing Retrofit Innovation to Application in Public Buildings” (<http://www.brita-in-pubs.eu/>), og omhandler innovativ og energieffektiv renovering af offentlige bygninger. Formålet med BRITA in PuBs, som er et projekt under EU’s 6 rammeprogram (Sustainable energy systems – Ecobuildings) er at forøge markedsandelen for innovative og effektive renoveringsløsninger, der kan forbedre energieffektiviteten med moderate ekstraomkostninger. Der er udvalgt ni offentlige bygninger i de fire deltagende europæiske regioner (nord, central, syd, øst), som vil blive mønsterværdigt renoverede. Ved at foretage renovering i forskellige typer af offentlige bygninger, som fx skoler, kulturcentre, børneinstitutioner, kollegier, kirker mv., vil det være muligt at nå bredt ud. *Offentlige bygninger kan bruges som drivkraft til at øge opmærksomheden på og gøre samfundet modtagelig overfor energidebatten.*

Forskningen vil også omfatte socioøkonomiske undersøgelser såsom identifikation af finansieringsbehov og -strategier i forbindelse med planlægningen af projekt, vurdering af retningslinier for design, udvikling af internetbaseret videnværktøj med oplysninger om renoveringstiltag, case studies og en kvalitetskontrol for at sikre, at bygningen og de tekniske systemer fungerer godt på lang sigt.

En vigtig del af projektet er videnformidlingsfasen. Formidlingen er opdelt i en mindre del, der drejer sig om instruktion af dels brugerne og dels de personer, der står for vedligeholdelse af bygningerne. Desuden en større del, der drejer sig om publicering af forsknings- og demonstrationsresultater til forskellige målgrupper. Dette vil ske gennem en kombination af målrettede PR-kampagner og ved at bruge lokale, nationale og internationale netværk, internet og andre medier samt arrangering og deltagelse i konferencer.

Projektet, som både omfatter demonstration og forskning, vil blive inddelt i fire subtasks for områderne design, implementering, brug og formidling. Statens Byggeforskningsinstitut, som er den primære danske deltager, skal især være med i udviklingen af retningslinier for design samt i formidlingsfasen.

Bilag 2: Beskrivelse af bygning 118 (DTU)

Klimaskærm, installationer og energiforsyning før renovering

Forsyning og distribution	Varme:	Bygningen forsynes fra DTU's fjernvarmesystem med direkte tilslutning, dvs. uden adskillelse (med varmeveksler) mellem primære og sekundære varmesystem. Typisk fremløbstemperatur er ca. 80°C. Varmefordeling via to enstrengede selvstændige blandekredse (nord/syd) og ribberørsradiatorer, og med centralt vejrkompenseret fremløbstemperaturregulering. Cirkulationspumper er med faste omdrejninger, der kan skiftes manuelt mellem 4 trin
	Varmet brugsvand:	Leveres fra DTU's net. Rør er ført synlige i kældere, og skjult over nedhængte lofter.
	Ventilation / infiltration	Naturlig ventilation via utætheder i klimaskærmen og ved åbning af vinduer og døre
	Køling:	Ingen
	Andet:	
Akkumulering	Passiv:	Tung bygning. Bagvægge af betonelementer, indvendige skillevægge i teglsten og delvist gipsplader, samt etagedæk med linoleum gulvbelægning
Bygning		
Ydervægge under terræn	Type:	Massiv armeret betonvæg, ca. 33 cm i gavle og ca. 25 cm i facader
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,45 W/m ² K
	Bem.:	
Ydervægge, gavle	Type:	Ca. 33 cm dobbeltvæg bestående af udvendigt 11 cm teglsten udvendigt, 7 cm hulrum med 5 cm isolering og indvendigt 15 cm betonbagvæg.
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,55 W/m ² K
	Bem.:	
Ydervægge, facader (brystninger)	Type:	Ca. 24 cm dobbeltvæg bestående af 11 cm teglsten udvendigt, 5 cm isolering og indvendigt 8 cm betonelement. Brystninger over nedhængt loft er indvendigt isoleret med 5 cm isolering. Det samme er betonelementer ved tagfod (samling mellem tag og ydervæg).
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,55 W/m ² K
	Bem.:	
Ydervægge, facader (mellem vinduer)	Type:	Let facadeparti opbygget med 9 mm indvendig pladebeklædning, ca. 7 cm hulrum, heraf 5 cm isolering og udvendigt afsluttet med 15 mm træplade beklædt med

		lodrette lister
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,57 W/m ² K
	Bem.:	
Vinduer	Type:	Trævinduer bestående af 3 faste felter og et mindre gående felt. Ruder er almindelige termorude med to lag glas.
	Evt. renovering	Der er enkelte ruder der er blevet udskiftet med energiruder, men der ses bort herfra ved Be06 beregningerne.
	U-værdi	2,9 W/m ² K
	g-værdi (ruder)	0,75
	Glasandel	Ca. 80 %
	Alder	Vinduerne oprindelige. Nogle ruder udskiftet.
	Bem.:	
Tag/loft	Type:	Built-up konstruktion med 15 cm isolering oven på en 10 cm betonplade.
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,25 W/m ² K
	Bem.:	
Gulve og terrændæk	Type:	Terrændæk i kælder er udført af 12 cm grovbeton udlagt på 15 cm singels. Mellem beton og singelslag er udlagt tjærepap som yderligere sikring mod opstigende grundfugt.
	Evt. efterisolering:	Ingen.
	U-værdi	0,41 W/m ² K
	Bem.:	Varmetab til jord antages at udgøre 70 % af varmetabet for en tilsvarende bygningsdel med den udvendige side vendende mod udeluften.
Belysning	Type:	Almen belysning er lysstofarmaturer.
	Regulering:	Manuel.
Skygge og solafskærmning		Ingen udhæng. Udvendige manuelt betjente og regulerbare persiener.

Målt energiforbrug før renovering

Varmeforbrug	Der findes ikke målinger af varmekonsumet i bygning 118. Der foreligger dog målinger på bygning 423, som viser et forbrug på 639 MWh (normalår) i gennemsnit i perioden år 200-2006, svarende til 183 kWh/m ² . Dette kan sammenholdes med det beregnede varmekonsum på 100 kWh/m ² , hvor det er tydeligt at beregningen undervurderer forbruget væsentligt. Dette skyldes at de aktuelle forhold afviger fra de standardiserede, f.eks. indetemperaturen, bygningens brugstid.
Elforbrug	Det samlede årlige elforbrug er ca. 400.000 kWh, som er inkl. elforbrug til procesudstyr (forsøgsopstillinger mv.)

Beregnet energibehov før renovering

Inddata til Be06	Anvendelsestid	45 timer pr. uge
	Varmekapacitet	Tung bygning (120 Wh/K pr. m ²)
	Bygning:	Som beskrevet under "før renovering"
	Linietab	Der er regnet med linietab ved kælderydervægsfundamenter (0,7 W/mK) og vinduer (0,17 W/mK)
	Skygger	Horisont afskærmning på 20 grader for alle vinduer mod sydfacaden (nabo bygning tæt ved), og 0 grader for nordfacaden.
	Solafskærmning	Solafskærmningsfaktor 0,7 for manuelt styret solafskærmning
	Ventilation	Der er regnet med en naturlig ventilation i brugstiden på 0,60 l/s/m ² , svarende til et normalt luftskifte i kontorbygninger på ca. 1 gang i timen. Uden for brugstiden antages kun 0,30 l/s/m ² . Om sommeren i brugstiden er der regnet med en ventilation på 0,90 l/s/m ² og om natten 0,60 l/s/m ² . I kælderen er der regnet med halvdelen af luftmængden i resten af bygningen.
	Internt varmetilskud	Der er antaget standardværdier reduceret med 50 % pga. den relativt beskedne persontæthed og udstrakte brug af bærbare pc'er mv., dvs. 2W/m ² for personer og 3W/m ² for apparater i brugstiden.
	Belysning	Almen belysning på minimum 2 og maksimalt 10 W/m ² i brugstiden. Dagslysfaktorer på mellem 0 og 2, heraf en faktor på 2 (arbejdstilsynets anbefaling) i de mest lyskrævende rum. Belysningen antages reguleret manuelt. (Dagslysfaktoren, DF angiver forholdet (udtrykt ved en procentdel) mellem belysningen inde, normalt på arbejdsborde og lignende, i forhold til den diffuse belysning ude på et vandret frit plan.)
	Varmefordeling	Dimensionerende temperaturer 80/60°C Manuelt regulerbar pumpe, 300 W.
	Varmt brugsvand	Antaget standardforbrug på 100 liter/år pr. m ² ved 55°C. 359 m varmerør i forskellige dimensioner med 20 – 40 mm isolering og varmetab på 0.17-0,24 W/mK.

Beregnet energibehov i Be06		
Årlig Energibehov	Rumopvarmning	85,5 kWh/m ² (netto – ekskl. tab)
	Varmt brugsvand	11,7 kWh/m ² (netto - ekskl. tab)
	El til bygningsdrift	Elforbrug til belysning, opvarmning, ventilatorer og pumper, i alt: 12,0 kWh/m ² pr. år. Udtrykt i primærenergi svarer det til 12,0 x 2,5 = 30,0 kWh/m ² .
	Køling/overtemperaturer i rum	0 kWh/m ²

Beregnet energibehov efter renovering

Beregnet energibehov i Be06		<div><div><div>Bygn 118 (efter).xml - Be06</div><div>Filer Rgdirer Vjs Hjaelp</div><div><div><div>095929-251</div><div><div>Klimaskærm</div><div><div>Ydervægge, tage og gu</div><div>Skema 1</div></div><div>Fundamenter mv.</div><div>Skema 1</div><div>Vinduer og yderdøre</div><div>Skema 1</div><div>Skygger</div><div>Skema 1</div><div>Uopvarmede rum</div><div>Skema 1</div><div>Internt varmetilskud</div><div>Skema 1</div><div>Belysning</div><div>Skema 1</div><div>Andet elforbrug</div><div>Mekanisk køling</div><div>Varmedelingsanlæg</div><div>Skema 1</div><div>Varmt brugsvand</div><div>Skema 1</div><div>Vandvarmere</div><div>Forsyning</div><div>Kedel</div><div>Fjernvarmeveksler</div><div>Anden rumopvarmning</div><div>Solvarmeanlæg</div><div>Varmerpumpe</div><div>Solceller</div><div>Resultater</div><div>Energi ramme</div><div>Nøgletal</div><div>Varmebehov</div></div></div><div><div>Nøgletal, kWh/m² år</div><div><div>Energi ramme</div><div>BR: 95,6</div><div>Klasse 2: 50,5</div><div>Klasse 1: 35,3</div></div><div><div>Samlet energibehov</div><div>38,5</div></div><div><div>Bidrag til energibehovet</div><div><div>Varme</div><div>25,7</div><div>El til bygningsdrift</div><div>5,1 *2,5</div><div>Overtemp. i rum</div><div>0,0</div></div><div><div>Udvalgte elbehov</div><div><div>Belysning</div><div>4,1</div><div>Opvarmning af rum</div><div>0,0</div><div>Opvarmning af vbv</div><div>0,0</div><div>Varmerpumpe</div><div>0,0</div><div>Ventilatorer</div><div>1,0</div><div>Pumper</div><div>0,0</div><div>Køling</div><div>0,0</div><div>Totalt elforbrug</div><div>10,4</div></div></div><div><div>Netto behov</div><div><div>Rumopvarmning</div><div>12,2</div><div>Varmt brugsvand</div><div>11,7</div><div>Køling</div><div>0,0</div></div><div><div>Varmetab fra installationer</div><div><div>Rumopvarmning</div><div>1,9</div><div>Varmt brugsvand</div><div>6,4</div></div><div><div>Ydelse fra særlige kilder</div><div><div>Solvarme</div><div>0,0</div><div>Varmerpumpe</div><div>0,0</div><div>Solceller</div><div>0,0</div></div></div></div></div></div></div></div></div></div>
Årlig Energibehov	Rumopvarmning	12,2 kWh/m ² (netto – ekskl. tab)
	Varmt brugsvand	11,7 kWh/m ² (netto - ekskl. tab)
	El til bygningsdrift	Elforbrug til belysning, opvarmning, ventilatorer og pumper, i alt: 5,1 kWh/m ² pr. år. Udtrykt i primærenergi svarer det til 5,1 x 2.5 = 12,8 kWh/m ² .
	Køling/overtemperaturer i rum	0 kWh/m ²

Bilag 3: Resultater af privatøkonomiske beregninger

Energibesparende tiltag		U-værdier		Anlægs-udgifter	Renoverings-grad	Anlægs-udgifter	Årlig energi-besparelse	Levetid	Rentabilitets-faktor	Tilbage-betalingstid	Energisparepris, kr/kWh			RF>1,33 og TBT<5 år	TBT>5 år og ESP<energipris		
	Enhed	W/m²K		kr. pr. enhed	%	kr. pr. enhed	kWh pr. enhed	År	-	År	Realudvikling i energipriser i pct. pr. år.			-	Realudvikling i energipriser i pct. pr. år.		
		Før	Efter	Samlet	-	Energitiltag	-	-	-	-	0.0	1.5	2.3	-	0.0	1.5	2.3
Ydervægge																	
Udv. efterisolering af ydervægge, uisoleret (175 mm)	m2 væg	1.50	0.20	2300	0	2300	117	40	1.2	32.2	0.83	0.67	0.59				✓
Udv. efterisolering af ydervægge, dårligt isoleret betonelement (160 mm)	m2 væg	1.00	0.20	2240	0	2240	72	40	0.8	51.0	1.31	1.06	0.94				
Udv. efterisolering af ydervægge, let isoleret hulmur/træskeletvæg (110 mm)	m2 væg	0.45	0.20	2040	0	2040	23	40	0.3	145.4	3.73	3.03	2.67				
Bedre isolering end lovkrav	m2 væg	0.20	0.15	120	0	120	4.5	40	0.9	43.7	1.12	0.91	0.80				
Tag- og loftkonstruktioner																	
Efterisolering af etageadskillelse mod uopvarmet loftrum (150 mm)	m2 loft	1.59	0.29	248	0	248	117	40	11.5	3.5	0.09	0.07	0.06	✓			
Efterisolering af uisoleret skunk (250 mm)	m2 skunk	1.85	0.15	290	0	290	153	20	6.4	3.1	0.12	0.10	0.09	✓			
Efterisolering af let isoleret skunk (200 mm)	m2 skunk	0.40	0.13	236	0	236	24	20	1.2	16.1	0.63	0.51	0.45			✓	✓
Efterisolering af let isoleret gitterspærkonstruktion (250 mm)	m2 loft	0.55	0.12	252	0	252	39	20	1.9	10.6	0.41	0.34	0.30		✓	✓	✓
Udvendig efterisolering af let isoleret flad tagkonstruktion (130 mm)	m2 tag	0.68	0.15	495	0	495	48	40	2.4	16.9	0.43	0.35	0.31		✓	✓	✓
Underbygning																	
Efterisolering af uisoleret strøgulv (175 mm)	m2 dæk	0.45	0.15	205	0	205	19	40	2.3	17.7	0.45	0.37	0.32		✓	✓	✓
Efterisolering af let isoleret strøgulv (125 mm)	m2 dæk	0.30	0.15	146	0	146	9	40	1.5	26.6	0.68	0.55	0.49			✓	✓
Indvendig efterisolering af uisoleret terrændæk med VIP (30 mm)	m2 dæk	0.45	0.15	900	0	900	19	40	0.5	77.7	1.99	1.62	1.43				
Efterisolering af uisoleret etagedæk mod kælder (250 mm)	m2 dæk	1.50	0.15	377	0	377	85	40	5.5	7.3	0.19	0.15	0.13		✓	✓	✓
Efterisolering af uisoleret krybekælderdek (100 mm)	m2 dæk	1.50	0.30	171	0	171	76	40	10.8	3.7	0.09	0.08	0.07	✓			
Klimaskærmens lufttæthed																	
BR standard (1,5 l/s/m2) vs. Passivhus standard (0,35 l/s/m2)	m2 etageareal			100	0	100	7.5	40	1.8	21.9	0.56	0.46	0.40		✓	✓	✓
Vinduer																	
1 fag træ, gl. termorude (g_v:0.55) vs Ny Energirude (g:0.46)	m² vindue	2.62	1.35	1611	0	1611	95	20	0.7	27.8	1.09	0.88	0.78				
Dannebro, et glas (g:0.54) vs. Dannebro, m energirude(g:0.34)	m² vindue	4.40	1.5	3350	0	3350	226	20	0.8	24.3	0.95	0.77	0.68				
Dannebro 1 glas (g:0.54) vs. Istandsættelse plus 1-lags forsatsvindue (g:0.44) (se note 1)	m² vindue	4.40	1.70	5830	0	5830	228	20	0.5	41.9	1.64	1.33	1.17				
1 fag træ, termorude (g:0.55) vs 1 fag træ energirude(g:0.46)	m² vindue	2.62	1.35	2622	0	2622	95	20	0.4	45.2	1.77	1.44	1.27				
1 fag træ, termorude (g:0.55) vs 1 fag FGP energirude(g:0.53)	m² vindue	2.62	1.35	3482	0	3482	110	20	0.4	51.9	2.03	1.65	1.45				
1 fag FGP energirude(g:0.53) vs 1 fag FGP energirude 3 lag(g:0.38)	m² vindue	1.35	0.76	500	0	500	25	20	0.6	32.8	1.28	1.04	0.92				
Ventilation																	
Nye effektivere ventilationsaggregater	m2 etageareal			100	0	100	28.1	20	3.4	5.8	0.23	0.19	0.16		✓	✓	✓
Ventilationsanlæg med varmegenvinding vs. naturlig ventilation (se note 2)	m2 etageareal			300	0	300	43.5	20	0.9	21.1	0.79	0.64	0.56				✓
Varmeanstallationer																	
30 mm efterisolering af uisolerede varmerør, 1"	m rør			86	0	86	92	20	13.1	1.5	0.06	0.05	0.04	✓			
60 mm efterisolering af uisolerede varmerør, 2"	m rør			169	0	169	164	20	11.8	1.7	0.07	0.05	0.05	✓			
Udskiftning af ældre cirkulationspumpe med automatisk reguleret A-pumpe (se note 3)	stk			4200	0	4200	880	20	2.6	7.8	0.31	0.25	0.22		✓	✓	✓
Efterisolering af varmtvandsbeholder, 100 mm	m² vvb overfl			872	0	872	506	10	3.5	2.8	0.20	0.16	0.14	✓			
Solafskærmning og køling																	
Ingen solafsk vs Udvendig variabel persienne (se note 4)	m² vindue			6021	0	6021	57	20	0.1	184.3	6.81	5.53	4.87				
Ingen solafsk vs Udvendig alu lameller (se note 4)	m² vindue			1320	0	1320	47	20	0.4	49.3	1.84	1.49	1.32				
Belysning																	
Traditionel belysningssystem, manuel vs lavenergi, manuelt	m² etageareal			245	0	245	51	10	1.3	7.9	0.55	0.45	0.39		✓	✓	✓
Traditionel belysningssystem, manuel vs lavenergi, automatisk styring	m² etageareal			280	0	280	54	10	1.2	8.5	0.59	0.48	0.42		✓	✓	✓
Solenergi																	
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand	m² solfanger			3500	0	3500	425	20	1.5	13.5	0.53	0.43	0.38		✓	✓	✓
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og rumopv.	m² solfanger			3850	0	3850	425	20	1.3	14.9	0.58	0.47	0.42		✓	✓	✓
Solcelleanlæg (se note 5)	m² solcelle			4000	0	4000	213	20	0.5	36.5	1.30	1.06	0.93				
Solvæg med ventilation	m² solvæg			2250	0	2250	140	20	0.8	26.3	1.03	0.84	0.74				

Note 1: Der antages levetid på 60 år da der er tale om et energiglas og ikke en rude

Note 2: Årlige drifts- og vedligeholdelsesudgifter på 3 kr/m2 og elforbrug til drift på 6,1 kWh/m2. Renoveringsgrad på 50 % pga indeklimaproblemer med naturlig ventilation

Note 3: Energibesparelse er elbesparelse x 2,5.

Note 4: Der regnet med årlig drifts- og vedligeholdelsesudgifter på ca. 2 kr/m2

Note 5: Årlige driftsudgifter på 20 kr/m2

Energibesparende tiltag		U-værdier		Anlægs-udgifter	Renoverings-grad	Anlægs-udgifter	Årlig energi-besparelse	Levetid	Rentabilitets-faktor	Tilbage-betalingstid	Energisparepris, kr/kWh			RF>1,33 og TBT<5 år	TBT>5 år og ESP<energipris		
	Enhed	W/m ² K		kr. pr. enhed	%	kr. pr. enhed	kWh pr. enhed	År	-	År	Realudvikling i energipriser i pct. pr. år.			-	Realudvikling i energipriser i pct. pr. år.		
		Før	Efter	Samlet	-	Energiltillæg	-	-	-	-	0.0	1.5	2.3	-	0.0	1.5	2.3
Ydervægge																	
Udv. efterisolering af ydervægge, uisolert (175 mm)	m2 væg	1.50	0.20	2300	75	575	117	40	5.0	8.1	0.21	0.17	0.15		✓	✓	✓
Udv. efterisolering af ydervægge, dårligt isoleret betonelement (160 mm)	m2 væg	1.00	0.20	2240	75	560	72	40	3.1	12.8	0.33	0.27	0.23		✓	✓	✓
Udv. efterisolering af ydervægge, let isoleret hulmur/træskeletvæg (110 mm)	m2 væg	0.45	0.20	2040	75	510	23	40	1.1	36.4	0.93	0.76	0.67				
Bedre isolering end lovkrav	m2 væg	0.20	0.15	120	0	120	4.5	40	0.9	43.7	1.12	0.91	0.80				
Tag- og loftkonstruktioner																	
Efterisolering af etageadskillelse mod uopvarmet loftrum (150 mm)	m2 loft	1.59	0.29	248	75	62	117	40	46.0	0.9	0.02	0.02	0.02	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af uisolert skunk (250 mm)	m2 skunk	1.85	0.15	290	75	73	153	20	25.7	0.8	0.03	0.02	0.02	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af let isolert skunk (200 mm)	m2 skunk	0.40	0.13	236	75	59	24	20	5.0	4.0	0.16	0.13	0.11	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af let isolert gitterspærkonstruktion (250 mm)	m2 loft	0.55	0.12	252	75	63	39	20	7.6	2.6	0.10	0.08	0.07	✓	✓	✓	✓
Udvendig efterisolering af let isolert flad tagkonstruktion (130 mm)	m2 tag	0.68	0.15	495	75	124	48	40	9.5	4.2	0.11	0.09	0.08	✓	✓	✓	✓
Underbygning																	
Efterisolering af uisolert strøgulv (175 mm)	m2 dæk	0.45	0.15	205	75	51	19	40	9.0	4.4	0.11	0.09	0.08	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af let isolert strøgulv (125 mm)	m2 dæk	0.30	0.15	146	75	37	9	40	6.0	6.6	0.17	0.14	0.12		✓	✓	✓
Indvendig efterisolering af uisolert terrændæk med VIP (30 mm)	m2 dæk	0.45	0.15	900	0	900	19	40	0.5	77.7	1.99	1.62	1.43				
Efterisolering af uisolert etagedæk mod kælder (250 mm)	m2 dæk	1.50	0.15	377	75	94	85	40	22.0	1.8	0.05	0.04	0.03	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af uisolert krybekælder (100 mm)	m2 dæk	1.50	0.30	171	75	43	76	40	43.4	0.9	0.02	0.02	0.02	✓	✓	✓	✓
Klimaskærmens lufttæthed																	
BR standard (1,5 l/s/m2) vs. Passivhus standard (0,35 l/s/m2)	m2 etageareal			100	0	100	7.5	40	1.8	21.9	0.56	0.46	0.40		✓	✓	✓
Vinduer																	
1 fag træ, gl. termorude (g:0,55) vs Ny Energirude (g:0,46)	m ² vindue	2.62	1.35	1611	75	403	95	20	2.9	6.9	0.27	0.22	0.19		✓	✓	✓
Dannebro, et glas (g:0,54) vs. Dannebro, m energirude(g:0,34)	m ² vindue	4.40	1.5	3350	75	838	226	20	3.3	6.1	0.24	0.19	0.17		✓	✓	✓
Dannebro 1 glas (g:0,54) vs. Istandsættelse plus 1-lags forsatsvindue (g:0,44) (se note 1)	m ² vindue	4.40	1.70	5830	75	1458	228	20	1.9	10.5	0.41	0.33	0.29		✓	✓	✓
1 fag træ, termorude (g:0,55) vs 1 fag træ energirude(g:0,46)	m ² vindue	2.62	1.35	2622	75	656	95	20	1.8	11.3	0.44	0.36	0.32		✓	✓	✓
1 fag træ, termorude (g:0,55) vs 1 fag FGP energirude(g:0,53)	m ² vindue	2.62	1.35	3482	75	871	110	20	1.5	13.0	0.51	0.41	0.36		✓	✓	✓
1 fag FGP energirude(g:0,53) vs 1 fag FGP energirude 3 lag(g:0,38)	m ² vindue	1.35	0.76	500	0	500	25	20	0.6	32.8	1.28	1.04	0.92				
Ventilation																	
Nye effektivere ventilationsaggregater	m2 etageareal			100	0	100	28.1	20	3.4	5.8	0.23	0.19	0.16		✓	✓	✓
Ventilationsanlæg med varmegenvinding vs. naturlig ventilation (se note 2)	m2 etageareal			300	50	150	43.5	20	1.9	10.5	0.45	0.36	0.32		✓	✓	✓
Varmeanstallationer																	
30 mm efterisolering af uisolerede varmerør, 1"	m rør			86	75	22	92	20	52.2	0.4	0.01	0.01	0.01	✓	✓	✓	✓
60 mm efterisolering af uisolerede varmerør, 2"	m rør			169	75	42	164	20	47.4	0.4	0.02	0.01	0.01	✓	✓	✓	✓
Udskiftning af ældre cirkulationspumpe med automatisk reguleret A-pumpe (se note 3)	stk			4200	75	1050	880	20	10.2	2.0	0.08	0.06	0.05	✓	✓	✓	✓
Efterisolering af varmtvandsbeholder, 100 mm	m ² vvb overfl			872	75	218	506	10	14.2	0.7	0.05	0.04	0.04	✓	✓	✓	✓
Solafskærmning og køling																	
Ingen solafsk vs Udvendig variabel persienne (se note 4)	m ² vindue			6021	75	1505	57	20	0.4	46.1	1.73	1.40	1.24				
Ingen solafsk vs Udvendig alu lameller (se note 4)	m ² vindue			1320	75	330	47	20	1.6	12.3	0.49	0.40	0.35		✓	✓	✓
Belysning																	
Traditionel belysningssystem, manuel vs lavenergi, manuelt	m ² etageareal			245	75	61	51	10	5.1	2.0	0.14	0.11	0.10	✓	✓	✓	✓
Traditionel belysningssystem, manuel vs lavenergi, automatisk styring	m ² etageareal			280	75	70	54	10	4.7	2.1	0.15	0.12	0.11	✓	✓	✓	✓
Solenergi																	
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand	m ² solfanger			3500	0	3500	425	20	1.5	13.5	0.53	0.43	0.38		✓	✓	✓
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og rumopv.	m ² solfanger			3850	0	3850	425	20	1.3	14.9	0.58	0.47	0.42		✓	✓	✓
Solcelleanlæg (se note 5)	m ² solcelle			4000	0	4000	213	20	0.5	36.5	1.30	1.06	0.93				
Solvæg med ventilation	m ² solvæg			2250	0	2250	140	20	0.8	26.3	1.03	0.84	0.74				

Note 1: Der antages levetid på 60 år da der er tale om et energiglas og ikke en rude

Note 2: Årlige drifts- og vedligeholdelsesudgifter på 3 kr/m2 og elforbrug til drift på 6,1 kWh/m2. Renoveringsgrad på 50 % pga indeklimaproblemer med naturlig ventilation

Note 3: Energibesparelse er elbesparelse x 2,5.

Note 4: Der regnet med årlig drifts- og vedligeholdelsesudgifter på ca. 2 kr/m2

Note 5: Årlige driftsudgifter på 20 kr/m2